

3D-KAUPUNKIMALLIN TUOTTAMINEN JA YLLÄPITO

Niila Ahokas

Opinnäytetyö
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

2014

LAPIN AMMATTIKORKEAKOULU

Tekniikka ja liikenne

Maanmittaustekniikka

3D-KAUPUNKIMALLIN TUOTTAMINEN JA YLLÄPITO

2014

Rovaniemen kaupunki

Niila Ahokas

Hyväksytty

Tekijä	Niila Ahokas	Vuosi	2014
Toimeksiantaja	Rovaniemen kaupunki		
Työn nimi	3D-kaupunkimallin tuottaminen ja ylläpito		
Sivu- ja liitemäärä	41		

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli etsiä ratkaisuja Rovaniemen kaupungin haasteisiin 3D-kaupunkimallin tuottamisessa ja ylläpidossa. Toinen tavoite oli perehtyä yleisellä tasolla 3D-kaupunkimallin tuottamiseen.

Tutkimuksessa käytettiin yleiseen aiheeseen tutustumiseen internetistä löytyvää sekä painettua materiaalia. Käytännön 3D-kaupunkimallin tuottamiseen käytettiin Rovaniemen kaupungillakin käytössä olevia ohjelmia. Kaupunkimallia tuotettiin Maanmittauslaitoksen avoin aineisto lähtötietona MicroStationin pohjalla toimivilla TerraSolidin ohjelmilla. Mallin täydentämiseen ja tiedonsiirtoon käytettiin Autodesk ohjelmia sekä SketchUp Make -ohjelmaa.

Tutkimuksessa löytyi vastauksia Rovaniemen kaupungin haasteisiin. Jatkossa mallin päivitys ja ylläpito tapahtuu mahdollisimman suurelta osin Autodeskin ohjelmilla. Näin vältetään tiedonsiirrosta aiheutuneista ongelmista. Kaupungin verkkolisenssi Autodeskin ohjelmiin mahdollistaa mallin päivittämisen usean eri henkilön toimesta. Tämä asettaa tarpeita yhteisten käytäntöjen ja sääntöjen luomiselle. Opinnäytetyössä ohjeistus tehtiin AutoCAD Civil 3D-ohjelmalla tapahtuvaan 3D-kaupunkimallin ylläpitoon ja päivitykseen. Ohjeistus tehtiin lisäksi SketchUpin ja AutoCAD:n väliseen tiedostojen siirtoon.

Avainsanat 3D-kaupunkimalli, TerraSolid, AutoCAD

Author	Niila Ahokas	Year	2014
Commissioned by	City of Rovaniemi		
Subject of thesis	Production and Maintenance of the 3D City Model		
Number of pages	41		

The goal of this thesis was to find solutions for the challenge of the city of Rovaniemi in producing and maintaining of the 3D City Model. Another goal was to become familiar with the 3D City Model in general level.

The Internet and printed material were used for studying the 3D City Models at a general level. In this thesis programs which are used in the city of Rovaniemi in practical producing of the 3D City Model were used. The 3D City Model was produced from National Land Survey of Finland's open material as beginning data when using MicroStation-based the TerraSolid programs. For adding and modelling the data to the 3D City Model Autodesk's programs and SketchUp were used.

The solutions were found to the challenge of the city of Rovaniemi. In the future updating and maintaining the 3D City Model will take place mainly with the Autodesk's programs. Thus, the problems with moving data from one program to another can be avoided. The network licence enables updating the model by several users. However guidelines are needed. The guidelines were made for maintaining the 3D City Model with the AutoCAD Civil 3D. The guidelines were made also for moving the data between the SketchUp and the AutoCAD Civil 3D.

Key words 3D City Model, TerraSolid, AutoCAD

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 3D-KAUPUNKIMALLI	3
2.1 3D-kaupunkimallin hyödyntäminen	4
2.2 3D-kaupunkimallin tarkkuus	6
2.3 Lähtöaineisto.....	9
2.3.1 Laserkeilaus.....	9
2.3.2 Maastomittaukset.....	14
2.3.3 Kuvat.....	14
3 3D-KAUPUNKIMALLIN TUOTTAMINEN	17
3.1 Ohjelmat ja tiedostomuodot	18
4 TAPAUKSEKSI ROVANIEMI	25
4.1 Tavoitteet.....	26
4.2 Vastauksia Rovaniemen haasteisiin.....	27
5 YHTEENVETO	36
LÄHTEET.....	38

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössäni perehdyin 3D-kaupunkimallien tuottamiseen ja ylläpitoon. Työni tilaajana toimi Rovaniemen kaupunki, joten yleisen 3D-kaupunkimallin tuottamisen ja ylläpidon lisäksi hain vastauksia heidän kokemuksiinsa haasteisiin aiheesta.

Opinnäytetyöni alkoi tutustumisella 3D-kaupunkimallista koskevaan aineistoon internetin ja kirjallisuuden avulla. Kävimme palaverissa Rovaniemen kaupungin edustajien kanssa läpi heidän toiveet ja tarpeet opinnäytetyöhöni liittyen. Kaupungin asettamien lähtökohtien lisäksi halusin lisäksi perehtyä aiheeseen yleisemmälläkin tasolla ja oppia itsekin tuottamaan 3D-kaupunkimallia.

Selvitin sähköpostikyselyn avulla, miten muualla Suomessa 3D-kaupunkimallia hyödynnettiin sekä tuotettiin. Kyselyn lähetin 31 paikkakunnalle eri puolille Suomea. Kyselyn pohjalta voidaankin todeta 3D-kaupunkimallin tuottamisen ja hyödyntämisen olevan nyt murroskohdassa. 3D-kaupunkimalli nähtiin hyödylliseksi lähes kaikkien vastanneiden kesken. Osa oli sitä ehtinyt jo tuottamaan, kun taas osa oli vasta tutustumassa sen tuottamiseen. Suurimpina haasteina koettiin osaamisen ja rahoituksen puute. (Ahokas 2014b.)

Työni osoitti, että kaupunkimallin tuottaminen ei välttämättä ole kovin kallista. Suurimmat kustannukset tulevat sopivien ohjelmien hankinnasta. Lähes kaikilla vastanneilla mallin hyödyntäminen rajoittui kuitenkin vain kaavoituksen tarpeisiin tehtyihin visualisointeihin. Uskonkin 3D-kaupunkimallin vahvistavan tulevaisuudessa entisestään asemaa, kun sitä opitaan paremmin hyödyntämään ja sen tuottamiseen osaaminen lisääntyy. Kantakartta esitetään mahdollisesti tulevaisuudessa kaupunkimallin muodossa (Isotalo 2013, 17). Tulevaisuudessa tietomallipohjainen suunnittelu tulee olemaan osa 3D-kaupunkimallia.

Suurimman haasteen opinnäytetyöni tekemiseen toi kohtalaisen tiukka aikataulu. Työtä aloittaessani minulla oli vain vähäistä aikaisempaa

kokemusta aiheesta, joten aiheeseen perehtyminen internetin aineistoa käyttäen vei runsaasti aikaa. Myös ohjelmien lisenssien maksullisuus toi osaltaan haasteita opinnäytetyön tekemiseen.

2 3D-KAUPUNKIMALLI

3D-kaupunkimallilla tarkoitetaan rakennetun ympäristön kolmiulotteista visualisointia. Useimmiten 3D-kaupunkimallia tarkastellaan tietokoneelta, mutta se voi olla myös ns. korkokuva. Tässä työssä käsittelen kuitenkin vain digitaalista 3D-kaupunkimallia.

Karkeimmillaan 3D-kaupunkimalli koostuu vektoroiduista rakennuksista ja maanpinnan pintamallista. Tarkemmissa malleissa on lisäksi kuvattu pienempiä yksityiskohtia, kuten kasvillisuutta, valaisinpylväät, kaiteet, aidat yms. Tiedot ovat usein myös teksturoitu kuvilta saatavan informaation perusteella. Karkea malli on hyvä lähtökohta, josta voidaan lähteä tarkentamaan mallia hankkeiden myötä (Luoma 2012).

3D-kaupunkimallinnus on kehittynyt viime vuosina. Ennen vuotta 2000 mallinnus on tapahtunut manuaalisesti ja mallin tuottaminen on ollut todella aikaa vievää ja tehotonta. 2000-luvulla uudet teknologiat toivat uusia mahdollisuuksia. Mittausteknologian kehitys ilmalaserkeilauksineen ja viistoilmakuvauksineen toi uusia mahdollisuuksia. Tuolloin tulivat myös ensimmäiset automaattiset rakennusmallintimet. 2010-luvulla kaupunkimallinnuksen voimakasta kehitystä on pyritty ohjaamaan standardien avulla. Parantuneet mallit mahdollistavat myös laajemman ja monipuolisemman hyödyntämisen. (Suomisto 2013.) Myös mallinnukseen käytettävät ohjelmat ovat kehittyneet paljon 2000- ja 2010-luvulla. Nykyiset ohjelmat mahdollistavatkin jo melko pitkälle viedyn automaation kaupunkimallin tuottamisessa.

3D-kaupunkimallin tuottaminen on periaatteessa yksinkertaista. Ensin tulee miettiä mihin kaupunkimallia käytetään. Tämä sanelee pitkälle sen, minkä tasoista mallia lähdetään työstämään. Kun tavoitteet ovat selvillä, hankitaan sopiva lähtöaineisto ja mallinnukseen käytettävät ohjelmat. 3D-kaupunkimallinnukseen tarkoitetuilla ohjelmilla mallin tuottaminen tapahtuu hyvin pitkälle automatisoidusti. Tämän jälkeen mallia voidaan vielä tarvittaessa tarkentaa ja muokata käsityönä. Pitkälle viety automatisointi on välttämätöntä, koska 3D-kaupunkimallia tuotetaan laajoilta alueilta, jolloin

käsityönä tehtävä mallinnus ei ole enää kustannustehokasta. Kunnilla on kuitenkin usein intressejä mallintaa myös suunniteltua tulevaa rakennuskantaa. Tähän ei tietenkään ole käyttä lähtöaineistona mittausdataa. Tulevan rakennuskannan mallinnus vaatiikin enemmän käsityötä kuin nykyisen. Mallinnettaessa ympäristöä tulee huomioida, että mallit ovat keskenään yhteensopivia (Luoma 2012).

2.1 3D-kaupunkimallin hyödyntäminen

3D-kaupunkimallia voidaan käyttää moniin eri tarkoituksiin. Kokemuksen perusteella mallintamisesta on paljon hyötyä vuorovaikutuksessa, suunnittelun osa-alueiden yhteensovittamisessa sekä hankkeiden yleisessä esittelyssä (Vianova b). Suomessa käyttö rajoittuu kuitenkin vielä pääosin kaavoituksessa rakennusten ja maaston visualisointiin (Ahokas 2014b). Kaupunkimallin laajempi hyödyntäminen olisi kuitenkin kaupungille taloudellisesti järkevää, koska mallin tekeminen maksaa. Samalle käytetylle rahalle voisi saada enemmän hyötyä.

Visualisointi

Kyselyssäni Suomen kunnille ilmeni 3D-kaupunkimallia käytettävän lähes ainoastaan kaavojen visualisointiin. 3D-kaupunkimallilla pyritään havainnollistamaan kaavan aiheuttamat muutokset ympäristöön. (Ahokas 2014b.) Yleensä näissä tapauksissa 3D-kaupunkimalli esitetään kuvina tai läpilento animaatioina. Haluttaessa tarjota kuntalaisille vieläkin parempaa palvelua voidaan 3D-kaupunkimalli jakaa internetissä, jolloin kuntalaiset pääsevät itse tutkimaan sitä haluamistaan paikoista. Näin heidän on helpompi ymmärtää kaavan vaikutukset heidän ympäristöönsä. Tämä helpottaa palautteen antoa kaavasta jo suunnitteluvaiheessa mikä puolestaan voi nopeuttaa kaavan etenemistä, kun kuntalaisillakin on realistinen kuva kaavan vaikutuksista. Hankekohtaisesti on kokeiltu jopa 3D-mallin esittämistä CAVE-ympäristössä ja virtuaalikypärän kautta (Oulun kaupunki 2013, 15).

Analyysit

3D-kaupunkimallia voidaan käyttää myös erilaisiin analyyseihin. Yleisimpiä

ovat erilaiset näkyvyys analyysit. Myös muunlaiset analyysit, kuten aurinkoenergia potentiaali, tulvariski tai meluanalyysit onnistuvat 3D-kaupunkimallia hyödyntämällä. Analyysejä tehdään paikkatieto-ohjelmilla.

Markkinointi

3D-kaupunkimalleja hyödynnetään jatkossa varmasti tehokkaammin. Yksi mahdollinen hyödyntämiskeino voisi olla alueen markkinointi. Mallista on helppo tehdä mainosvideo. Tehdään läpilento animaatio, lisätään sopivat tekstit sekä ääniraita, ja mainosvideo on valmis. Toinen vaihtoehto on ladata haluttu mallin osa internettiin, jolloin turistit tai vaikka tulevat asukkaat voivat tutkia ympäristöä etukäteen. Turismiin liittyen 3D-kaupunkimallista voitaisiin tehdä 3D-kartta, joka pyörisi infopisteillä ja olisi lisäksi netissä ladattavissa tai luettavissa esimerkiksi tablet-tietokoneella tai älypuhelimella. Laitteiden sisäinen GPS-paikannus hoitaisi 3D-kartalla henkilön oikealle kohdalle. Näin kartanlukutaidotonkin henkilö saisi helposti kuvan missä hän on ja missä suunnassa eri kohteet ovat luonnossa.

Yhteistyötä pelimaailman kanssa voidaan myös hyödyntää markkinoinnissa. Nykyisin erilaiset toimintapelit ovat suuressa suosiossa. Pelit sijoittuvat usein kuvitteellisiin kaupunkeihin (Suomisto 2013). Mikäli pelinkehittelijöille annettaisiin käyttöön raaka-malleja 3D-kaupunkimalleista, voisivat he niiden pohjalta sijoittaa pelit tapahtumaan reaali maailmaan. Näin kaupungin tunnettavuutta voitaisiin lisätä pelimaailman avulla.

Pelien tapaan erilaisissa simulaatioissa voidaan hyödyntää tapahtuman sijoittumista reaali maailmaan. Esimerkiksi saksassa poliisikoulutuksessa poliisit ajavat autosimulaattorilla 3D-kaupunkimalliin pohjautuvassa ympäristössä (Suomisto 2013).

3D-kaupunkimallin esittäminen

3D-kaupunkimalli pitää pystyä myös esittämään muille. Yleensä mallia esitellään kuvin. Mallista on otettu muutama havainne-kuva joista katsoja saa kuvan esitetystä alueesta. Toinen yleinen esitystapa on läpilento animaatio. Siinä kamera liikkuu ennalta määrättyä linjaa jonka näkymän katsoja näkee. Nämä esitystavat ovat hieman passiivisia ja katsoja on täysin esittelijän

armoilla. Toisaalta tämä mahdollistaa mallin esittelijälle vapauden valita, mitä ja mistä kuvakulmasta hän esittelee.

3D-kaupunkimalli voidaan esittää myös internetissä. Osa kaupungeista jakaa malliaan 3D PDF muodossa, jolloin käyttäjä lataa itselleen pdf-tiedoston jota katselee omalla koneellaan. (Suomisto 2013.) Peliteollisuus tarjoaa mahdollisuuksia kätevään 3D-aineiston esittämiseen internetissä. Oulun kaupunki suunnittelee jakavansa Hiukkavaaran 3D-mallin selainpohjaisesti realXtend-ohjelmiston avulla (Oulun kaupunki 2013, 12). Opinnäytetyötä tehdessäni selvitin 3D-kaupunkimallin jakamisen mahdollisuutta internettiin Unity 3D-pelimootorilla. Unitystä on saatavilla ilmainen versio ja 1 500 \$ maksava Unity Pro. Ilmaisversiosta löytyy kaikki tarvittavat työkalut 3D-kaupunkimallin internettiin jakamiseen. (Unity a; Unity b). MicroStationista saa vietyä Unityyn TerraSolidilla tuotetun 3D-kaupunkimallin .obj tiedostona. Unity 3D-pelimootorilla voidaan kätevästi julkaista 3D-kaupunkimalli internettiin (Honkanen 2012; Piippo 2014). Internetissä mallia tarkastellaan Web Playerilla. Mallia voidaan liikutella vapaasti, joten katsoja pääsee tarkastelemaan mallia haluamastaan kuvakulmasta. Malliin voidaan liittää toiminnollisuuksia. Tällainen voi olla esimerkiksi painike, jota painamalla käyttäjä voi valita näkymään nykyisen tai tulevan rakennuskannan. (Piippo 2014.) Tällä tavalla mallia jaettaessa katsojan on helppo itse valita, mitä haluaa tarkastella mallissa. Peliteollisuuden osaamista kaupunkimallinnukseen kannattaisi muutenkin hyödyntää enemmän. Nykyisten pelien toimintaympäristöt ovat todella realistisen tuntuisia, niissä on helppo liikkua ja pelaaja voi olla vuorovaikutuksessa ympäristön kanssa. (Sireeni 2012.) Nämä ovat hyödyllisiä ominaisuuksia myös 3D-kaupunkimallille.

2.2 3D-kaupunkimallin tarkkuus

3D-kaupunkimallin tarkkuudesta puhuttaessa voidaan eritellä kohteiden sijaintitarkkuus ja kuvaustarkkuus. CityGML-standardissa tarkkuus jaetaan viiteen eri luokkaan, LoD (Level of Details). LoD arvoille on määritetty niin sijaintiin kuin kuvaustarkkuuteenkin liittyvät vaatimukset. LoD 0 on kaikkein suuripiirteisoin ja LoD4 puolestaan tarkin. Kuviossa 1 on esitetty esimerkkejä

eri LoD tasoisista malleista.



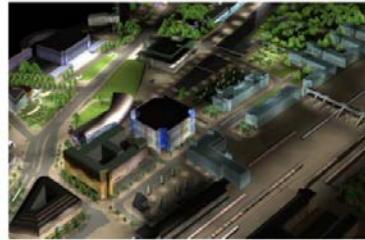
LoD 0
Teksturoitu maastomalli



LoD 1
Laatikkomalli



LoD 2
Rakennusmuotoja



LoD 3
Yksityiskohtaiset
rakennukset, kasvillisuus



LoD 4
Rakennukset myös sisältä

Kuvio 1. Havainnekuva LoD arvoista (mukaillen Suomisto 2010)

Taulukko 1:ssä on esitelty tarkemmin CityGML-standardin mukaiset tarkkuusvaatimukset LoD arvoille.

Taulukko 1. LoD arvojen kuvaus ja vaatimukset (Gröger ym. 2012, 12)

Tarkkuusvaatimuksia LoD arvoille					
	LoD 0	LoD 1	LoD 2	LoD 3	LoD 4
Kuvaus	Teksturoitu maastomalli	Laatikko-malli	Kattogeo-metria, rakennus-muotoja	Yksityiskoh-taiset rakennuk-set, kasvilli-suus	Rakennuk-set myös sisältä
Tarkkuus, sijainti/ korkeus	<LoD 1	5 m / 5 m	2 m / 2 m	0,5 m / 0,5 m	0,2 m / 0,2 m
Katon muoto		Tasakatto	Erilaiset katon muodot	Todelliset muodot	Todelliset muodot
Katon ulkonevat osat		Ei	Kyllä, jos tiedetään	Kyllä	Kyllä
Yksittäiset puut/ pensaas	Ei	Tärkeimmät kohteet	Prototyypit, korkeam-mat kuin 6 m	Prototyypit, korkeam-mat kuin 2 m	Prototyypit , todelliset kohteet
Kasvipeite	ei	> 50*50 m	> 5*5 m	< LoD 2	< LoD 2

Kuten edellä olevasta Taulukko 1:stä huomataan, LoD arvo määrittelyn mukaan sijaintitarkkuus ja yksityiskohtien määrä kasvaa arvon kasvun myötä. 3D-kaupunkimallien osalta puhutaan yleensä luokista LoD 2-3. Tämän tasoisia malleja pystytään tuottamaan nykyisestä ympäristöstä suhteellisen pitkälti automaattisesti lähtöaineiston ollessa riittävän tarkkaa (TerraSolid b). Tuotettaessa mallia ilmalaserkeilaus- ja ilmakuva-aineistosta pistetiheys ja tarkkuus sekä maastopikselikoko nousevat suurimmiksi yksittäisiksi tekijöiksi, mitkä vaikuttavat mallin lopulliseen LoD arvoon.

Maanmittauslaitoksen avoimessa laserkeilausaineistossa pistetiheys on vähintään 0,5 pistettä neliömetrillä, jolloin pisteiden etäisyys toisistaan on noin 1,4 metriä. Korkeustarkkuuden keskivirhe on enintään 0,15 m ja tasotarkkuuden keskivirhe enintään 0,6 m yksiselitteisillä kohteilla. (Maanmittauslaitos b.) Maanmittauslaitoksen ortokuvien sijaintitarkkuus on 0,5 m – 2 m ja pikselikoko 0,5 m (Maanmittauslaitos c). Tämä tarkoittaa, että teoriassa käyttämällä Maanmittauslaitoksen avointa aineistoa voidaan päästä

tarkimmillaan LoD 2 tasoiseen 3D-kaupunkimalliin. Käytännössä tähän pääsy vaatii jo jonkin verran käsityötä. TerraScanin avulla vektoroidessa rakennuksia Maanmittauslaitoksen aineistosta kattomuotoja joudutaan jonkin verran korjaamaan jälkikäteen. Halutessa tuottaa pienemmällä käsityöllä LoD2 tai tuotettaessa LoD 3 tasoista kaupunkimallia, tulee lähtöaineiston pistetiheyden ja tarkkuuden olla korkeampia.

2.3 Lähtöaineisto

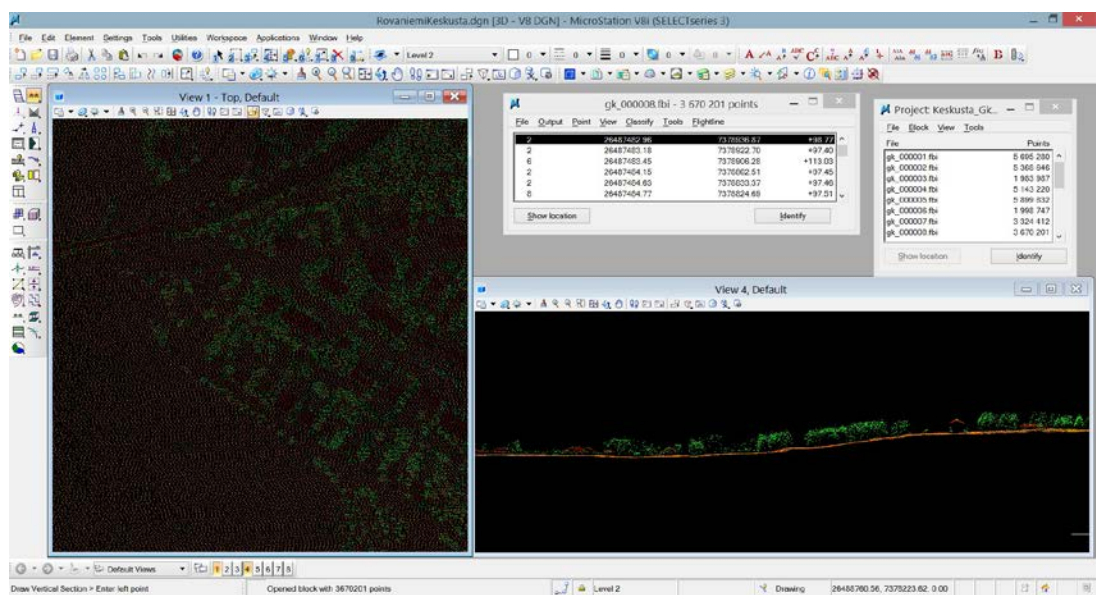
Täsmällisen 3D-kaupunkimallin tuottaminen vaatii tarkkaa sijaintitietoa kohteista. Myös kohteiden ominaisuustiedot tulee tietää teksturoitaessa kaupunkimalli. Lähtöaineistona voidaan käyttää monenlaista aineistoa. Käytettävä lähtöaineisto vaikuttaa, miten kaupunkimalli käytännössä tuotetaan ja kuinka pitkälle se voidaan tehdä automaattisesti. Mallin lähtöaineistona voidaan käyttää kantakarttaa, maastomalliaineistoa, laserkeilausta, paikka- ja rekisteritietoja, ylläpitojärjestelmien tietokantoja tai muita käytettävissä olevia aineistoja, joissa on 3D-tietoa kaupungin rakenteista (Vianova a).

2.3.1 Laserkeilaus

Laserkeilaus on sähkömagneettiseen säteilyyn perustuvaa kaukokartoitusta. Laserkeilain toimii aktiivisena kaukokartoituslaitteena. Se muodostaa itse mittaussignaalin ja havaitsee signaalin heijastumisen. (Laurila 2012b.) Laserkeilaimilla mitataan automaattisesti nopeasti kohteiden sijaintia. Mittaus perustuu tarkkaan etäisyyden ja mittasuuntien orientointiin. (Laurila 2012a, 269.) Etäisyysmittausmenetelmän perusteella laserkeilaimet voidaan luokitella kahteen pääryhmään, valon kulkuaikaan perustuviin ja vaihe-eroon perustuviin laitteisiin. Vaihe-eroon perustuvat keilaimet soveltuvat lähellä olevien kohteiden (<80m) keilaamiseen, kun taas valon kulkuaikaan perustuvat keilaimet soveltuvat suurempien etäisyyksien mittaamiseen. (Laurila 2012a, 272; Cronvall–Kråknäs–Turkka 2012, 18.)

Yksittäinen laserpulssi osuu yleensä useampaan kohteeseen, jolloin siitä tulee useampi paluukaiku. Paluukaikujen tieto tallennetaan kolmiulotteiseen

pistepilveen (Kuvio 2). Pistepilvi sisältää kaikki laserkeilausalueen pulssitiedot x-, y-, z-koordinaatteineen. (Maanmittauslaitos 2014.) Pistepilven pisteet pitää luokitella, jotta laserkeilausaineistoa voidaan hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti. Luokittelussa pisteille määritetään ominaisuustieto, joka kertoo minkä laatuista kohteesta lasersäde on heijastunut takaisin. Luokittelu tapahtuu pääosin automaattisesti, mutta tarvittaessa pisteiden luokkaa voidaan muuttaa jälkikäteen (Lampinen 2011, 21). Taulukko 2:ssa on esitelty ASPRS:n (the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing) standardit LAS 1.2 pisteiden luokitteluun.



Kuvio 2. Luokittelun mukaan värjättyä pistepilveä

Taulukko 2. Pisteiden luokittelu (ASPRS 2008, 8; Lampinen 2011)

ASPRS:n standardi LAS 1.2 LIDAR pisteiden luokille		
Luokittelu arvo	Luokka	Kuvaus
0	Created, never classified	Luokittelematon
1	Unclassified	Luokittelematon
2	Ground	Maanpinta
3	Low Vegetation	Kohteet < 0,3m maanpinnasta
4	Medium Vegetation	Kohteet 0,3-2,0m maanpinnasta
5	High Vegetation	Kohteet > 2,0m maanpinnasta
6	Building	Rakennus
7	Low Point (noise)	Heikkolaatuiset pisteet
8	Model Key-point (mass point)	Mallin avainpisteet
9	Water	Vesi
10	Reserved for ASPRS Definition	Varattu ASPRS:n määrittelylle
11	Reserved for ASPRS Definition	Varattu ASPRS:n määrittelylle
12	Overlap Points	Luokittelusta poistettu
13-31	Reserved for ASPRS Definition	Varattu ASPRS:n määrittelylle

Laserkeilaimia useita erilaisia. Teollisuuslaserkeilaimet ovat teollisuuden käyttöön tarkoitettuja tarkkoja keilaimia. 3D-kaupunkimallin tuottamiseen käytettyjä keilaintyypppejä ovat maa-, ilma-, mobiililaserkeilaimet.

Maalaserkeilaus

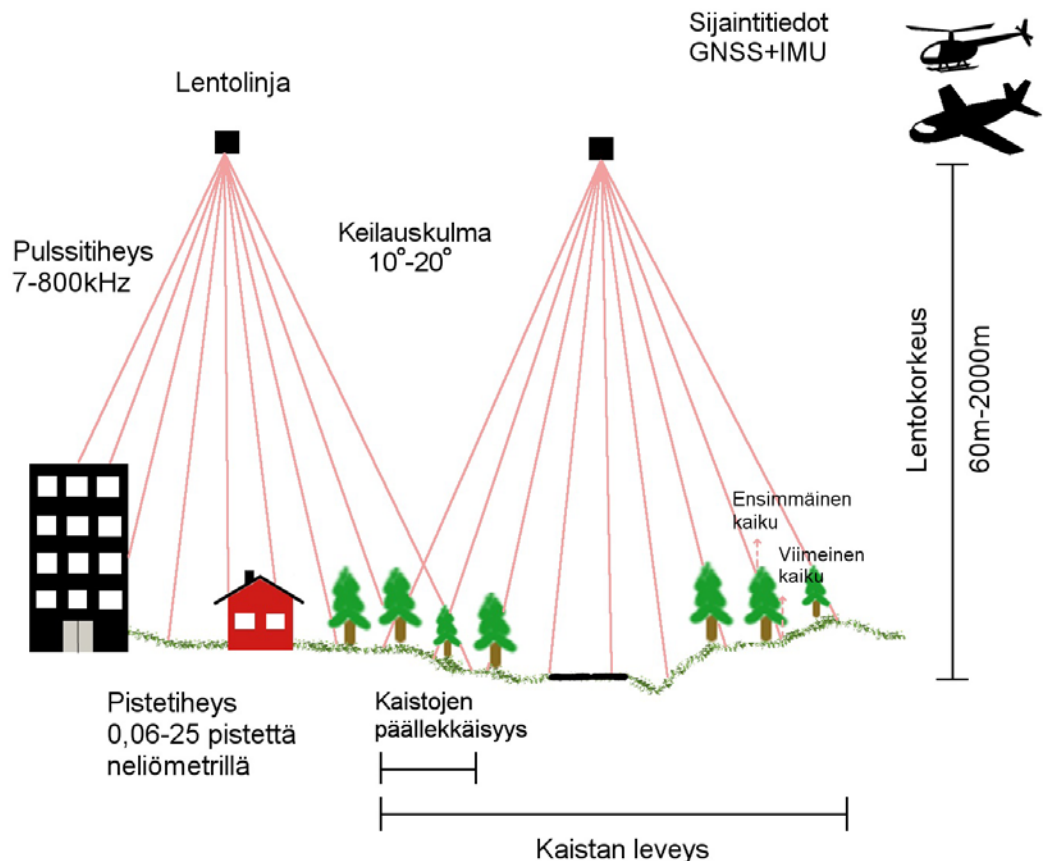
Maalaserkeilauksessa (TLS, Terrestrial Laser Scanning) keilain on takymetrin tapaan kolmijalalle sijoitettava koje (Laurila 2012a, 271; Cronvall ym. 2012, 16). Laserkeilain lähettää lasersäteen, joka heijastuu kohteista takaisin keilaimeen. Heijastuneesta säteestä koje laskee kohteille suunnan ja etäisyyden. Maalaserkeilain soveltuu parhaiten rakennusten mallintamiseen ja mittaamiseen. (Laurila 2012a, 271.)

Ilmalaserkeilaus

Ilmalaserkeilaus (ALS, Aerial Laser Scanning) on nimensä mukaisesti ilmasta tapahtuvaa laserkeilausta. Ilmalaserkeilain on usein sijoitettu lentokoneeseen tai helikopteriin. Keilauksen avulla saadaan tuotettua mittaustietoa nopeasti laajoilta alueilta. Lentokoneesta tapahtuva keilaus sopii hyvin laajojen suorakaiteen muotoisten alueiden keilaamiseen, kun taas helikopterilla voidaan keilaus suorittaa vapaammin valitusta alueesta. Helikopteri mahdollistaa myös matalamman lentokorkeuden ja täten suuremman pistetiheyden ja tarkkuuden. Tekniikan kehitys on tuonut markkinoille myös ensimmäisen mittauskäyttöön soveltuvat UAS:iin (Unmanned Aerial System) sijoitettavat laitteet (Riegl 2014a).

Ilmalaserkeilain koostuu keilainosasta, lasertykistä ja ilmaisinosasta (Laurila 2012a, 269). Keilainosa hoitaa laserkeilan käännön, lasertykki lähettää laserpulssit, jotka heijastuvat kohteista takaisin. Heijastuneet pulssit vastaanottaa ilmaisinosasta, joka mittaa pulssin käyttämän ajan ja paluusignaalin intensiteetin. (Laurila 2012a, 269–270.) Keilaimen sijainti- ja asentotiedot saadaan satelliittipaikannuksen (GNSS, Global Navigation Satellite System) ja inertiamittauksen (IMU, Inertial Measurement Unit) avulla (Laurila 2012a, 270). Lentokorkeudet vaihtelevat tilanteen mukaan 60–2000 metrin välillä. Lentolinjat valitaan niin, että vierekkäisissä kaistoissa on hieman päällekkäisyyttä. Keilauskulma on tyypillisesti 10°–20°. Pulssitiheys vaihtelee tyypillisesti 7 000–125 000 mittausta sekunnissa ja pistetiheys 0,06–25 pistettä neliömetrillä. Pistetiheys vaikuttaa suuresti siihen miten pistepilveä voidaan hyödyntää. (Laurila 2012a, 269; Cronvall ym. 2012, 13.) Tekniikka kehittyy koko ajan tällä saralla ja markkinoille on tuotu jo laitteita joiden pulssitiheys on jopa 800 000 Hz (Riegl 2014b). Mitä tiheämpi pistepilvi

on, sen tehokkaammin sitä voidaan prosessoida automaattisesti. Esimerkiksi rakennuksia vektoroidessa jälkikäteen tehtyjen korjausten tarpeen määrä vähenee käytettäessä suurempaa pistetiheyttä. Kokonaistaloudellisuuden kannalta onkin järkevää keilata suuremmalla pistetiheydellä ja käyttää prosessoinnissa mahdollisimman paljon automaatiota. Kaupunkialueita keilatessa käytetäänkin 10–15 pistettä/m² pistetiheyttä. (Korpela 2008, 37.) Kuviossa 3 esitetään periaatekuva ilmalaserkeilauksesta.



Kuvio 3. Periaatekuva ilmalaserkeilauksesta

Mobiililaserkeilaus

Mobiililaserkeilaus (MLS, Mobile Laser Scanning) on liikkuvasta kulkuneuvosta tapahtuvaa keilausta. Mobiililaserkeilain kiinnitetään yleensä autoon. Haluttaessa käyttökelpoista keilausaineistoa autoa valittaessa tulee huomioida sen soveltuvuus mobiilikeilaukseen (Heinonen 2014). Muita kulkuneuvoja joissa mobiililaserkeilainta voidaan käyttää, ovat esimerkiksi junat ja veneet. Laitteisto koostuu yhdestä tai kahdesta 360° laserkeilaimesta, satelliittipaikantimesta sekä inertiamittausjärjestelmästä.

Näiden lisäksi laitteistoon voidaan yhdistää digitaalisia kameroita tai videokameroita. Inertiamittausjärjestelmä mahdollistaa yksittäisten pisteiden tarkan x-, y- ja z-koordinaattien saannin kulkuneuvon kallisteluista huolimatta. (Cronvall ym. 2012, 14.)

3D-kaupunkimallia tuotettaessa voidaan käyttää myös näiden keilaustapojen yhdistelmää. Käytettäessä useaa eri keilaintyyppiä, tulee pistepilvien kalibrointi tehdä huolella. Tällä varmistetaan eri keilaintyypeillä saatujen pistepilvien yhteensopivuus.

2.3.2 Maastomittaukset

3D-kaupunkimallia tuottaessa laserkeilauksen lisäksi voidaan hyödyntää perinteisiä maastomittauksia. Takymetrillä tai satelliittipaikantimella voidaan mitata kohteita, joita ei laserkeilauksella ole pystytty mittaamaan. Tällaisia ovat esimerkiksi veden alle jääneet ojanpohjat ja maan alla kulkevat putkilinjat. Myös katveisilla alueilla voidaan tarvittaessa täydentää laserkeilauksella saatua mittausdataa perinteisin maastomittauksin. (Korpela 2008, 38.)

Rakennusten kivijalan ollessa mitattuna takymetrillä tai satelliittipaikannuksella voidaan kivijalkavektori yhdistää laserkeilaamalla määriteltyyn kattotasoon. Näin voidaan tuottaa tarkkaa kaupunkimallia melko automaattisesti. Eri aikaan ja eri mittaustavoin tuotettuja aineistoja yhdistelyssä tulee noudattaa suurta huolellisuutta. Koordinaattien ja korkeustietojen yhteensopivuus tulee varmistaa. (Korpela 2008, 38.) Luotettavuuden kannalta olisikin syytä tehdä muunnosparametrit eri mittausten välillä vertailupisteiden avulla.

2.3.3 Kuvat

3D-kaupunkimallin realistisuutta voidaan lisätä liittämällä 3D-malliin kuvia. Tätä kutsutaan fotorealismiksi (Haggaren 1996). Yleensä malliin lisätään ortokuva, jolloin se vaikuttaa jo hieman realistisemmalta. Ortokuva on karttaprojektioon oikaistu ilmakuvamosaiikki tai yksittäinen ilmakekuva (Laurila 2008, 72). Ortokuvasta saadaan kätevästi tekstuurit ylhäältä päin nähtäville

kohteille, kuten rakennusten katoille ja peitteettömälle maanpinnalle. Ortokuvilta saatavaa tietoa voidaan hyödyntää myös pisteiden luokittelussa. Esimerkiksi rakennusten kattojen sijainnit saadaan tarvittaessa tarkasti ortokuvilta. Mikäli kuvia halutaan hyödyntää mahdollisimman hyvin, tulee kuva-alkion koko olla mahdollisimman pieni, eli ortokuvan maastoerotuskyvyn mahdollisimman suuri. Nykyisillä digitaalikameroilla päästään ilmakuvausessa 10 cm pikselikokoon maastossa. Tämän tarkkuuden kuvilta voidaan erottaa jo melko pieniäkin yksityiskohtia. Esimerkiksi valaisinpylväät ja yksittäiset puut sekä niiden tyyppi on erotettavissa kuvilta (Kuvio 4). Näitä tietoja voidaan hyödyntää halutessa tuottaa fotorealistista 3D-kaupunkimallia.



Kuvio 4. 10 cm maastoresoluutioinen ortokuva

Haluttaessa tuottaa vielä tarkempaa 3D-kaupunkimallia myös vektoroiduille rakennuksilla määritellään tekstuurit. Perinteisesti CAD ohjelmilla tekstuureja lisätään kohde kerrallaan (Bentley 2014). Yksittäisten seinien lisääminen

kuva kuvalta ei kuitenkaan ole laajoja 3D-kaupunkimalleja tuottaessa järkevää. Rakennusten seinien tekstuurit saadaan laajoillekin alueille kätevästi ilmasta eri suunnista otetuilta viistokuvilta (TerraSolid a). Näin saadaan luotua hyvin fotorealistinen 3D-kaupunkimalli (Kuvio 5). Blom ASA tarjoaa markkinoille tekniikkaa, jolla koko 3D-kaupunkimalli tuotetaan pelkästään viistokuvien perusteella (Blom ASA 2013).



Kuvio 5. Viistokuvilla teksturoitu 3D-kaupunkimalli (TerraSolid a)

3 3D-KAUPUNKIMALLIN TUOTTAMINEN

Aloitettaessa tuottaa 3D-kaupunkimallia on syytä huomioida, että

- mallinnettava alue on usein laaja
- mallinnukseen käytettävä tietomäärä on usein valtava
- kaupunkikuva on jatkuvassa muutoksessa, joten myös 3D-kaupunkimallia tulee pystyä päivittämään
- mihin 3D-kaupunkimallia käytetään

Yllä luetellut seikat vaikuttavat lopullisen mallin tuottamiseen. Mallinnettavan alueen laajuutta voidaan hallita jakamalla mallinnettava alue pienempiin osakokonaisuuksiin, jotka voidaan myöhemmin yhdistää.

3D-kaupunkimallin tuottamisessa olisi syytä pyrkiä mahdollisimman pitkälle vietyyn automatisointiin, koska mallinnettavat alueet ovat usein laajoja. Pienien yksittäisten alueiden mallinnuksessa tai tarkennettaessa automaattisesti tuotettua kaupunkimallia voidaan käsityö nähdä vielä perustelluksi. Halutessa kuitenkin tuottaa 3D-kaupunkimallia laajoilta alueilta tulee tuotantoon hankkia sopivat ohjelmat ja lähtöaineisto, jotta mallia pystytään tuottamaan mahdollisimman pitkälle, mahdollisimman automatisoidusti.

Tuotettaessa 3D-kaupunkimallia laserkeilauspisteistöstä tietomäärä on todella suuri. Esimerkiksi 10 pistettä/m² pistetiheydellä neliökilometrin alueella on 10 miljoonaa pistettä. Näin ollen laajemmilta alueilta keilausaineistossa on jo miljardeja pisteitä. Tämä vaatii tietokoneilta ja käytettäviltä ohjelmistoilta erityisvaatimuksia. Käytettävän tietokoneen suorituskyvyn pitää olla korkea. Lisäksi pistepilviä tulee voida hallita pienempinä kokonaisuuksina, ja tarvittaessa vielä harventamaan niitä joistakin luokista.

Tuotettu 3D-kaupunkimalli tulee olla helposti päivitettävissä, koska kaupunkikuvakin on jatkuvassa muutoksessa. Tämä on hyvä huomioida jo mallia tuotettaessa. Eri rakenteet, maanpinta ja kasvillisuus tulee olla erotettavissa eri tasoilla, jolloin koko mallia ei tarvitse välttämättä uusia, vaan

vain muuttuneet kohteet. Tasomäärittely helpottaa myös aineiston siirtoa. Mallista tulee voida irrottaa palasia muiden käyttöön ja julkaistavaksi.

Tuotettavan 3D-kaupunkimallin LoD arvo määräytyy hyvin pitkälle käyttötarkoituksen mukaan. Suomessa käytetään sähköpostikyselyni mukaan kaupunkimallia lähes ainoastaan kaavoituksen visualisointiin (Ahokas 2014b). Kauempiin perspektiivikuviin riittää jopa LoD 1 tasoinen kaupunkimalli. Käytännössä vähintään LoD 2 tasoisia malleja pystytään tuottamaan automaattisesti, joten niitä kannattaa käyttää myös perspektiivikuviin. Tarkasteltaessa 3D-kaupunkimallia läheltä on järkevää käyttää vähintään LoD 2 tasoista mallia. Kaavoituksen visualisoinnissa yksityiskohtien määrää tulee pohtia tapauskohtaisesti. Liian suuri yksityiskohtien määrä voi viedä katsojan huomion niihin, eikä kokonaisuus esitettävältä alueelta hahmotu esitettäville (Ahokas 2014b).

Erilaisissa analysoinneissa vaaditaan käytännössä vähintään LoD 2 tasoista mallia. Näkyvyys-analyyseissä tulee tietää tarkasti näkyvyyteen vaikuttavat seikat, kuten isoimmat puut, kattomuodot, rakennusten ja maaston muoto. Sama pätee luonnollisesti myös kaikkiin muihin analyyseihin, missä rakennuksen ja maanpinnan muoto kasvillisuuksineen on merkitsevä.

3.1 Ohjelmat ja tiedostomuodot

Keskityin tässä opinnäytetyössä muutamaa ohjelmaan rajallisen ajan sekä rajallisten ohjelmistolisenssien vuoksi. Syvällisemmin paneuduin Rovaniemen kaupungilla käytössä oleviin MicroStationin pohjalla toimiviin TerraSolidin ohjelmiin sekä Autodeskin AutoCAD Civil 3D:hen. Markkinoilla on myös muita kaupunkimallin tuottamiseen tarkoitettuja ohjelmia. Näistä Novapointin Virtual Map on melko yleisesti kunnilla käytössä (Ahokas, 2014b). ArcGIS ohjelmista tuttu Esri on tuonut markkinoille Esri CityEnginen, joka on niin ikään kaupunkimallinnukseen tarkoitettu ohjelma. Markkinoilla on liuta muitakin ohjelmia, kuten Safen FME-ohjelmat joilla voi kirjoittaa kaupunkimallia CityGML muodossa. Ohjelmista osa on tarkoitettu enemmän olemassa olevan mallinnukseen, kun taas osa enemmän tulevan mallinnukseen. Monella kaupungilla on kuitenkin intressejä sekä nykyisen,

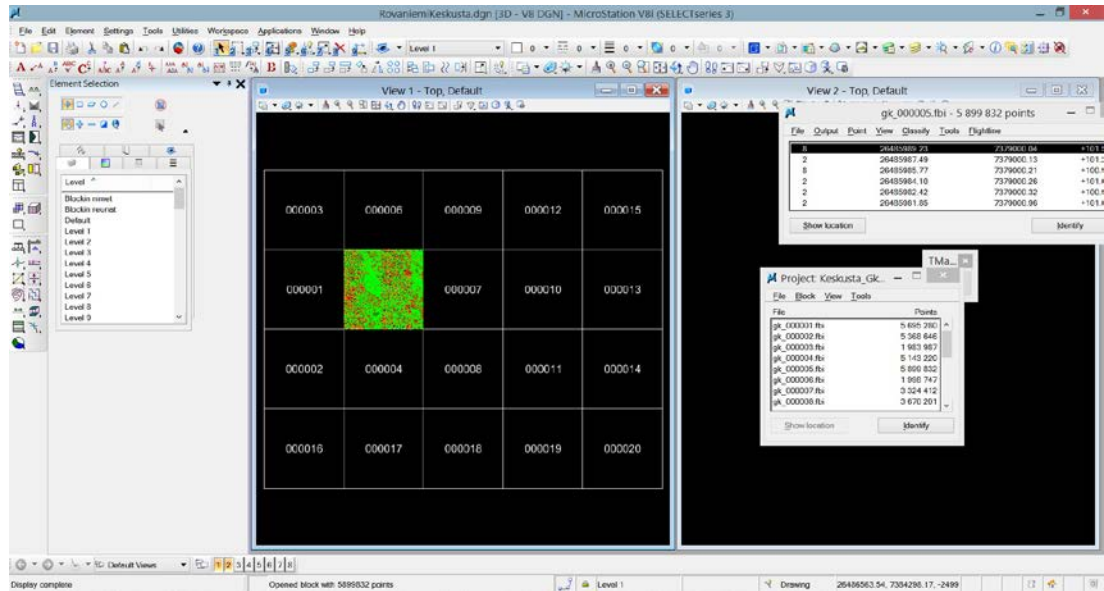
että tulevan kaupunkikuvan mallintamiseen. Tällöin käytettävät ohjelmat tulee valita siten, että tiedonsiirto ohjelmista toisiin toimii mahdollisimman hyvin. Yleisesti kaupalliset ohjelmat tukevat yleisimpiä CAD (Computer Aided Design) tiedostomuotoja (.dwg ja .dgn). Ongelmia ilmenee kuitenkin eri ohjelmistoversioita käytettäessä sekä tekstuureiden siirtämisessä. Esimerkiksi MicroStation V8i:hin tuodessani AutoCAD 2013 tallentamaa .dwg tiedostoa piti tiedosto tallentaa "AutoCAD 2010/LT2010 (tai vanhempi) Drawing (*.dwg)" muotoisesti, jotta sen avaaminen onnistui MicroStation V8i:llä. Myös käytettävä lähtöaineisto vaihtelee käytettävän ohjelman mukaan. Laserkeilausaineistoa käytettäessä TerraSolid:n ohjelmat osoittautuivat järkevimmäksi vaihtoehdoksi. Novapoint Virtual Mapilla ja Esri CityEnginellä voidaan tuottaa kaupunkimallia kantakartta lähtöaineistona. Näillä realistisen nykyisestä ympäristöstä tehtävän 3D-kaupunkimallin tuottaminen vaatii enemmän käsityötä, kuin tuottaessa mallia laserkeilausaineistosta lähes automaattisesti TerraSolidin ohjelmilla. Virtual Map ja CityEngine ovat kuitenkin käteviä työkaluja erityisesti tulevan mallinnukseen. Niiden suurimmat hyödyt tulevat esille tuottaessa havainnemallia tulevasta ympäristöstä tai alueilta joista ei välttämättä ole tarkkaa mittaustietoa lähtöaineistoksi.

TerraSolid

TerraSolid on suomalainen ohjelmistovalmistaja joka tarjoaa ohjelmia laserkeilausaineiston ja ilmakuvien käsittelyyn. Ohjelmat ovat rakennettu toimimaan Bentley'n MicroStationin päällä. (TerraSolid b.) TerraScan, TerraModeler, TerraPhoto, TerraMatch ja TerraSurvey ovat ohjelmia, joita käyttämällä 3D-kaupunkimallin luonti sopivista lähtöaineistoista on vaivatonta ja pitkälle automatisoitua.

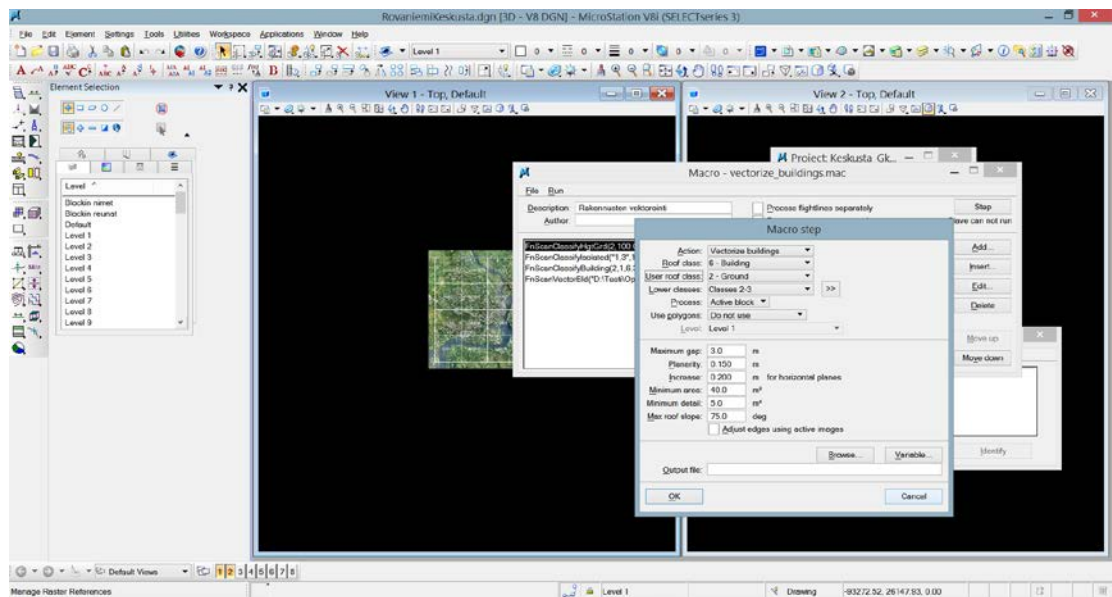
TerraScan on ohjelma laserkeilausaineiston prosessointiin ja 3D-vektoritiedoston luontiin. TerraScanilla voidaan tuottaa LOD2 tasoisia 3D-malleja lähes automaattisesti laajoilta alueilta. Ohjelman työkalujen avulla voidaan pistepilveä uudelleen luokitella automaattisten suodattimien avulla. (TerraSolid c.) Esimerkiksi Maanmittauslaitoksen pistepilvi Rovaniemen alueelta ei sisällä pisteitä luokassa "rakennukset". TerraScanin työkaluilla pisteiden uudelleenluokittelu hoitui kuitenkin helposti. Laajojenkin alueiden

datan hallinta ei ole ongelma TerraScanilla. Ohjelmalla jaetaan laajojen alueiden data pienempiin osa-alueisiin, blokkeihin (ohjelmassa block) (Kuvio 6).



Kuvio 6. Projektin jako blokkeihin

Blokkien dataa käsitellään manuaalisesti yksi blokki kerrallaan tai käyttämällä makroja. Makrojen avulla ohjelma tekee automaattisesti käyttäjän määrittämät toimet kaikille projektin blokeille. 3D-kaupunkimallia tuottaessa voidaan esimerkiksi luoda makro rakennusten vektorointiin. Tällöin ohjelma vektoroi kunkin blokin rakennukset blokki kerrallaan (Kuvio 7).



Kuvio 7. Ohjattu rakennusten vektorointi makron luonti

TerraModeler on ohjelma pintamallin prosessointiin. Ohjelmalla onnistuu korkeuskäyrien sekä profiilien luonti ja tilavuuksien sekä korkeuserojen laskenta kahden pintamallin välillä. Yhdessä TerraScanin ja TerraPhoton kanssa ohjelmalla on helppo luoda laserkeilausaineistosta pintamalli ja teksturoida se ortokuvalla. (TerraSolid d.)

TerraPhoto on ohjelma kuvien orto-oikaisuun ja mittausdatan visualisointiin. Yhdessä TerraScanin ja TerraModelerin kanssa ohjelma tarjoaa hyviä työkaluja mittausdatan visualisointiin. Ohjelman avulla kuvilta voidaan lukea tekstuurit mallin kohteille. Jos käytössä on orto- ja viistokuvat, voidaan laserkeilausaineistosta tuotetulle 3D mallille lukea tekstuurit maanpinnan ja kattojen lisäksi myös vertikaalisille kohteille, kuten seinille. Tämä on nopea tapa luoda fotorealista 3D-kaupunkimallia. Alueen visualisointiin TerraPhotosta löytyy työkalu, jolla voidaan tehdä ”läpilento” animaatioita. (TerraSolid a; TerraSolid e.) Laajojen alueiden isoja tiedostomääriä pyritään hallitsemaan hieman kuten TerraScanissa. Ilmakuvat jaetaan pienempiin alueisiin, laattoihin (ohjelmassa tile). Näitä kuvia voidaan sitten ladata yksi kerrallaan taustalle.

TerraMatch on ohjelma laserkeilausraakadatan kalibrointiin ja sovittamiseen. Sillä voidaan esimerkiksi vierekkäisten lentolinjojen päällekkäisten kaistojen data sovittaa yhteensopivaksi. Myös käytettäessä useita eri laserskannausmenetelmiä tulee skannereilla saadut pistepilvet kalibroida yhteensopiviksi. (TerraSolid f.)

TerraSurvey on ohjelma maastomittausten datan käsittelyyn. TerraSurveytä käytetään usein yhdessä muiden TerraSolidin ohjelmien kanssa. (TerraSolid g.)

Rovaniemen kaupunki tuottaa 3D-kaupunkimallia TerraSolidin ohjelmilla, joten myös minä käytin niitä testatessa mallin tuottamista ilmalaserkeilausaineistosta. Ohjelmat vaikuttivat todella käteviltä tähän tarkoitukseen. Niitä on suhteellisen helppo käyttää ja ne ovat pitkälle automatisoituja. Ohjelmissa voidaan luoda ohjatusti makroja, jotka hoitavat

kätevästi halutut toiminnot laajoiltakin alueilla. TerraSolid tarjoaa myös kattavat harjoitusanimaatiot internetsivuillaan, joiden avulla uusi käyttäjä pääsee sinuiksi ohjelmien kanssa. Huonona puolena voidaan todeta, että TerraSolidin ohjelmat vaativat Bentley'n MicroStationin. Tämä voi lisätä hankintakustannuksia, mikäli organisaatiolla ei ole ennestään käytössä MicroStationia.

Autodesk

Autodesk tarjoaa lukuisia ohjelmia 3D-mallinnukseen. AutoCAD Civil 3D soveltuu 3D-kaupunkimallin ylläpitoon. Ohjelma sisältää tutut AutoCAD:in mallinnustyökalut, joten sillä onnistuu melko vaivattomasti myös 3D-mallinnus. Autodeskin Revit on rakennusten 3D-mallintamiseen suunnattu ohjelma. 3ds Max puolestaan on puhtaasti 3D-mallinnukseen ja animaatioiden luontiin tarkoitettu ohjelma.

SketchUp

SketchUp on suuren suosion saavuttanut 3D-mallinnusohjelma. Se on yleisesti käytössä myös 3D-kaupunkimallinnuksessa. (Ahokas 2014b.) Suosiota selittää SketchUpin helposti lähestyttävä käyttöliittymä sekä selkeät ja helppokäyttöiset mallinnustyökalut. Myös SketchUpin ilmainen versio laskee kynnystä kokeilla ja opetella ohjelman käyttöä. SketchUp Pro versio tukee myös .dwg/.dxf tiedostomuotoja joka tekee siitä melko hyvin yhteensopivan CAD-ohjelmien kanssa. AutoCAD:iin on lisäksi saatavilla SketchUp-tiedostojen tuontiin tarkoitettu työkalu.

CityGML

CityGML (City Geographic Markup Language) on semanttinen tietomalli kolmiulotteisen tiedon esittämiseen (Reini 2011, 26). Tietomallissa 3D-tiedon lisäksi liikutaan 4D- ja 5D-maailmassa. 3D-mallin rinnalle nousevat aikatauluun, kustannuksiin ja määriin liittyvää informaatiota. Tietomallinnus on vielä melko uusi asia. Tietomallipohjaisen mallituksen etuna on sen tapa hallita koko projektin elinkaaren aikaiset tiedot. Tämä tehostaa tiedonkulkua eri osapuolten välillä. (Viitala 2011, 6.) CityGML sisältää tietoa kohteen rakenteesta, ominaisuuksista sekä kohteiden välisistä suhteista, joka mahdollistaa erilaisten simulointitehtävien, kyselyt ja analyysit (Reini 2011, 26;

Suomisto 2010). CityGML perustuu avoimeen XML-pohjaiseen tiedon tallennukseen ja siirtoon (Gröger ym. 2012, xiv). CityGML on kaupunkimallinnuksen kehittyvä standardi. Sitä on kehitetty Saksassa vuodesta 2002. Vuonna 2008 CityGML hyväksyttiin OGC:n (Open Geospatial Consortium) standardiksi. Hollanti oli ensimmäinen maa, joka otti sen kansalliseksi kaupunkimallistandardiksi. (Reini 2011, 26; Suomisto 2013.) CityGML -yhteensopivia ohjelmistoja ovat esimerkiksi AristotelesViewer ja Safe Softwaren FME. Safen FME:llä voidaan lukea ja kirjoittaa CityGML-formaattia (Reini 2011, 26).

Kaupunkimallinnuksen nähdään kehittyvän kohti tietomallipohjaista työskentelyä (Suomisto 2013). Suomisto jakaa suunnittelutyön evoluution kolmeen osaan (Kuvio 8). Ensimmäisessä vaiheessa perinteinen kynä-paperi menetelmä korvattiin tietokonepiirtämisellä. Toisessa vaiheessa tuotteet ja prosessit digitalisoituvat. Suunnittelutyön kehityksen kolmas vaihe on tietomallipohjainen työskentely. Tietomallipohjaisen työskentelyn lähtökohtana on kattava tietomalli, joka on verkossa jaettuna. Myös käytettävät ohjelmat voivat olla pilvipalveluissa. Työskentely on näin ollen ajasta ja paikasta riippumatonta. Tietomallityöskentelyn läpimurtoa verrataan jopa internetin tilanteeseen vuonna 1996. Uudet mahdollisuudet johtavat työnteon uudelleenajatteluun. (Suomisto 2013.) Tällä hetkellä olemme teknologian ja asenteiden osalta toisen ja kolmannen vaiheen välimaastossa.



Kuvio 8. Suunnittelutyön evoluutio kohti tietomallipohjaista työskentelyä (Suomisto 2013)

4 TAPPAUS ROVANIEMI

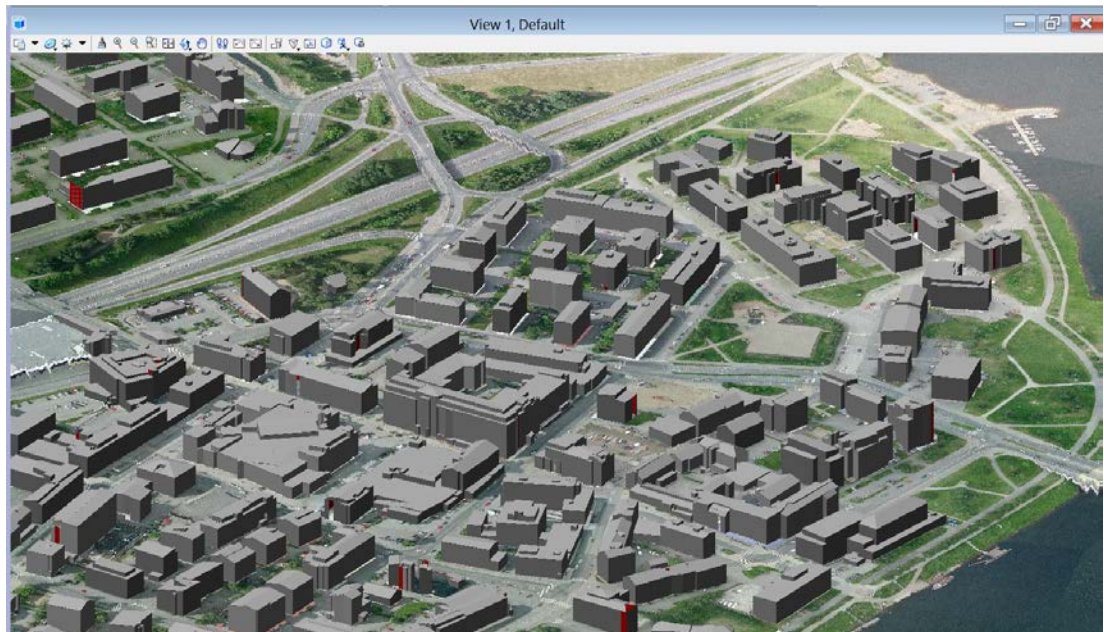
Lähtökohtana opinnäytetyötä aloittaessani Rovaniemen kaupungilla oli tilanne, jossa heillä oli kiinnostusta kaupunkimallin hyödyntämiseen ja jonkin verran sitä myös hyödynnettykin. Ongelmana oli mallin repaleisuus. Kaupunkimallia oli tehty eri hankkeisiin pieniä alueita kerrallaan. Paikkatietosuunnittelija Juhani Nikumaa oli mallintanut olemassa olevaa rakennuskantaa MicroStation V8i pohjaisella TerraSolidin (TerraScan, TerraPhoto ja TerraModeler) ohjelmistolla. Mallinnus perustui Maanmittauslaitoksen laserkeilaus aineistoon Rovaniemen kaupungin alueelta. Tästä luotuun kaupunkimalliin kaavasuunnittelijat olivat lisänneet suunniteltuja rakennuksia mallintamalla niitä (Google) SketchUp-ohjelmistolla. Ongelmia kuitenkin ilmeni tiedon siirrossa. TerraSolidilla tehtyä mallia vietäessä SketchUpin osaa tiedoista saattoi hävitä. Esimerkiksi seinä tai katon osa oli saattanut kadota. SketchUpista siirtäessä tietoja MicroStationiin ongelmia oli tullut tiedon georeferoinnissa. Toisin sanoen SketchUpilla luotua mallia oli vaikeuksia sovittaa MicroStationiin oikeaan koordinaatistoon. Tällä menetelmällä mallinnus koettiin työlääksi ja aikaa vieväksi. Yhden haasteen työskentelyyn tuo ohjelmistojen lisenssit. Nykyisellään kaupungilla on käytössä yksi lisenssi TerraSolidin ohjelmistoihin, verkkolisenssit Autodeskin ohjelmistoihin ja SketchUpin lisenssit. Nykyisten menetelmien käytön koettiin aiheuttavan päällekkäistä työtä, jossa samaa aluetta jouduttiin mallintamaan moneen kertaan useamman eri henkilön toimesta. Tärkeäksi nähtiin myös, että jatkossa tuotettu kaupunkimalli olisi yhtenäinen, josta voisi tarvittaessa irrottaa palasia esim. konsulttien käyttöön. Nykyisillään kaupunkimallin käyttö rajoittuu kaavoituksen havainnollistamiseen. (Ahokas 2014a.) Mahdolliset muut käyttökohteet olisi syytä ottaa huomioon jo kaupunkimallia tuottaessa, jotta malli saadaan vastaamaan myös muiden hyödyntämiskeinojen tarpeita. 3D-kaupunkimallin hyödyntäminen mahdollisimman laajasti olisi taloudellisestikin ajateltuna järkevää.

4.1 Tavoitteet

Opinnäytetyöni tavoitteiksi asetettiin Rovaniemen kaupungin taholta

- etsiä kustannustehokasta ja työmäärältään järkevää keinoa tuottaa yhtenäistä kaupunkimallia
- selvittää mitä ohjelmistoja ja tiedostomuotoja mallin tuottamisessa olisi järkevä käyttää, jotta ohjelmistoista toiseen siirrot onnistuisivat jouhevasti
- selvittää onko Rovaniemen kaupungilla nykyisin olevat ohjelmistot riittäviä kaupunkimallin tuottamiseen ja ylläpitoon, vai olisiko järkevää kustannustehokkuuden kannalta hankkia joitain muita ohjelmistoja kaupunkimallin tuottamiseen (Ahokas 2014a).

Kustannustehokkuuden ja työmäärän kannalta on tärkeää minimoida päällekkäinen työ 3D-kaupunkimallia tuottaessa. Malliin tehty työ tulee olla hyödynnettävissä kaikille osapuolille. Nykykäytännöillä samaa mallia on jouduttu työstämään useita kertoja eri henkilöiden toimesta (Ahokas 2014a). Kustannustehokkuuden kannalta on myös tärkeä tuottaa mallia mahdollisimman pitkälle automaattisesti ja käyttää muokkaamiseen tarkoituksenmukaisia ohjelmia. Nykyisestä ympäristöstä TerraSolidin ohjelmilla saadaan tuotettua tehokkaasti ilmalaserkeilausaineiston perusteella 3D-kaupunkimallia. Mallia on tuotettu tähän asti Maanmittauslaitoksen avoimen aineiston pohjalta yhdistettynä kaupungin tilaamiin pienempi maastoresoluutioisiin ilmakuviin (Ahokas 2014a). Kuviossa 9 on esitetty minkä tasoista mallia saa suoraan pistepilvestä tehdyistä rakennuksista yhdistettynä ortokuvaan.



Kuvio 9. 3D-rakennukset ortokuvalla

Käytettäessä Maanmittauslaitoksen avointa ilmalaserkeilausaineistoa tulee huomioida aineiston tarkkuus. Aineistosta saadaan tuotettua LoD 2 tasoista mallia, mutta se vaatii melko paljon käsityötä. Rakennusten muodot ja erityisesti katon muotoja pitää käsitellä jälkikäteen. Mikäli käytössä olisi tarkempi lähtöaineisto, myös automaattisesti tuotetun mallin tarkkuus paranisi ja myöhemmin tehtyjen muokkausten määrän terve vähenisi. Tämän hetkinen malli ei sisällä seinien tekstuureja. Halutessa mallista fotorealistinen, tulisi seinät teksturoida ja lisätä kasvillisuus. Laajojen alueiden seinien teksturointiin tulee käyttää mahdollisimman pitkälle automatisoitua toimintamallia. TerraSolidin ohjelmilla voidaan tuottaa fotorealistinen 3D-kaupunkimalli ilmalaserkeilaus- ja ilmaviistokuva-aineistosta (TerraSolid 2012). Rovaniemen kaupungilla onkin suunnitteilla tilata tiheämpää laserkeilausaineistoa ja uudet viistokuvat keskusta-alueelta sekä sen ympäristöstä.

4.2 Vastauksia Rovaniemen haasteisiin

Markkinoilla on tarjolla muutamia ohjelmavaihtoehtoja 3D-kaupunkimallien tuottamiseen. Sähköpostikyselyssäni Suomen kunnille esiin nousivat MicroStationin pohjalla toimiva TerraSolid, Autodeskin pohjalla toimiva Novapointin ohjelmat, Esri CityEngine, SketchUp ja Safe Softwaren FME ohjelmat (Ahokas 2014b). Rovaniemen kaupungilla on käytössään näistä

TerraSolid, Autodeskin ohjelmistopaketti (AutoCAD Civil 3D 2015, AutoCAD Map 3D ja AutoCAD) ja SketchUp. Kaupungin nykyiset ohjelmat tarjoavat kattavat työkalut niin nykyisen ympäristön kuin tulevankin mallintamiseen. TerraSolid:n ohjelmilla voidaan tuottaa kaupunkimallia ilmalaserkeilausainestosta. Tämä on tehokas tapa tuottaa 3D-kaupunkimallia nykyisestä ympäristöstä. Tuotettaessa mallia tulevasta ympäristöstä tai jos alueelta ei ole käytettävissä ajantasaista laserkeilausaineistoa, tulee mallinnus hoitaa muilla ohjelmilla. Tähän asti Rovaniemen kaupungilla on ollut käytössä SketchUp tähän tarkoitukseen (Ahokas 2014a). Ohjelmassa on paljon hyviä puolia juuri tähän ja sen käyttöä voidaan pitää perusteltuna. SketchUp version tulee kuitenkin olla oikea, jotta tiedonsiirto onnistuu MicroStationin ja AutoCAD:n välillä. Myös Autodeskin ohjelmat ovat suunniteltu 3D-mallinnuksen käyttöön.

Kuten jo Rovaniemen tapauksen lähtökohdissa selvitin, on Rovaniemen kaupungilla käytössä liuta ohjelmia paikkatiedon esitykseen. 3D-kaupunkimallia tuottaessa ongelmia on kuitenkin tullut tiedon siirrossa ohjelmista toisiin. Tietoa katoaa ja koordinaatit muuttuvat. Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistosta on TerraSolidin ohjelmistoilla tuotettu 3D-kaupunkimallia nykyisestä rakennuskannasta. Tuotettua mallia on tallennettu MicroStationista "Export->SketchUp" toiminnolla .skp tiedostomuotoon. Tämä .skp tiedostomuoto on luettavissa SketchUpilla. Kaavasuunnittelijat ja kaavoitusarkkitehdit ovat työssään käyttäneet SketchUpia tehdessään havainne kuvia kaavan aiheuttamista muutoksista ympäristöön. Ongelmia on tullut TerraSolidilla tuotetun mallin ja SketchUpilla tuotetun mallin yhdistämisessä. Infra-alalle tehdyn selvityksen mukaan projekteissa saattaa kulua jopa 30 % ajasta tiedonsiirto-ongelmien ratkaisemiseen (Viitala 2011, 11).

Ongelman ratkaisuksi löysin opinnäytetyötä tehdessä muutaman vaihtoehdon. Ensimmäinen lähtökohta on, että luovutaan kokonaan SketchUpin käytöstä. Tulevan kaavan mallinnus voitaisiin jatkossa hoitaa Autodeskin ohjelmilla. Rovaniemen kaupungilla on käytössä verkkolisenssi Autodeskin ohjelmiin. Lisenssi kattaa ohjelmat AutoCAD Civil 3D 2015, AutoCAD Map 3D 2014 ja AutoCAD 2014. Verkkolisenssi takaa ohjelmien

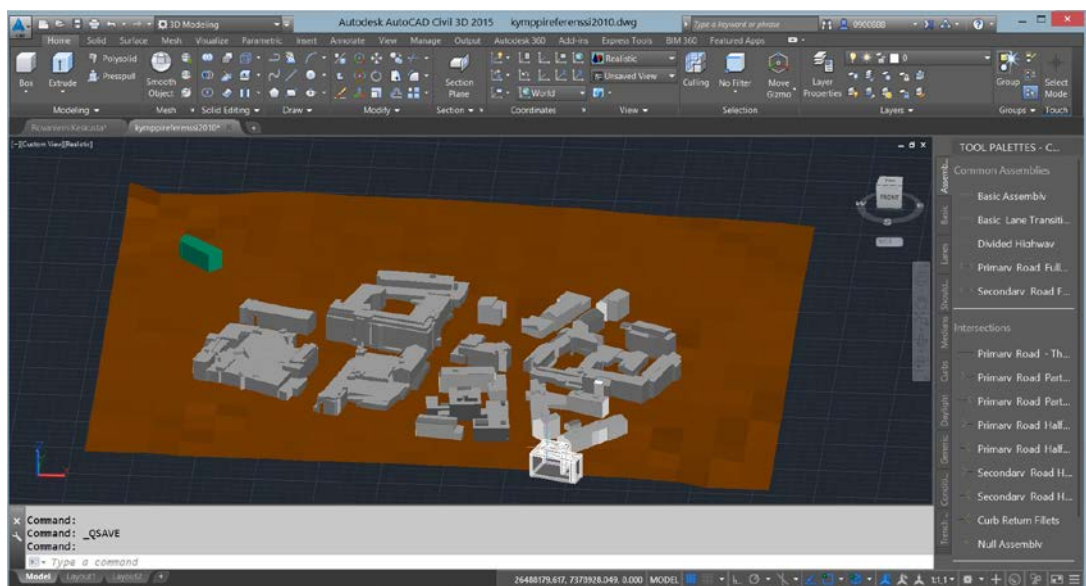
olemisesta kaikkien mallinnusta tekevien käytössä. Autodeskin ja MicroStationin välinen tiedonsiirto toimii lähes moitteetta. Huomioitavaa on kuitenkin käyttää oikeita tiedostoversioita (AutoCAD 2010 tai vanhempi) ja varmistaa työskentelyssä oikean mittayksikön käyttö (metrit).

Mikäli halutaan pitäytyä SketchUpin käytössä ja ylläpitää yhtenäistä kaupunkimallia MicroStationissa, vaatii tiedostojen siirto ohjelmasta toiseen hieman lisätyötä. Ensinnäkin käytettävät SketchUp versiot tulisi päivittää. Opinnäytetyötä tehdessäni käytin SketchUp Make Version 14.0.4900:a. SketchUp Make on ilmainen versio, mutta sen lisenssi ei salli ammattikäyttöä. MicroStationin SketchUp vienti ominaisuus toimi tähän SketchUp versioon. MicroStation V8i kirjoittaa SketchUp tiedoston 8.0.4051 versioon, joten käytettävä SketchUp tulisi olla vähintään tuota versiota. Käytännössä Rovaniemen kaupungin kannattaisi päivittää SketchUp ohjelmat Pro versioon. SketchUp Pro lisenssin kappalehintaa yhdestä neljään lisenssin tilauksissa on 378 € + 73 € (SketchUp a). Hinta sisältää lisenssin sekä tuen vuodeksi (SketchUp a). Vuoden käytön jälkeen tuki lakkaa, mutta ohjelman käyttöä voidaan jatkaa jatkossakin (SketchUp b).

Mallinnettaessa ympäristöä SketchUpilla kannattaa MicroStationista viedä SketchUpiin mallia lähialueelta. Tämä toimii georeferointi tietona, jolloin SketchUpissa tehty malli saadaan oikeaan sijaintiin ilman lisätyötä. Kun SketchUp:illa on saatu haluttu malli tuotettua, viedään se SketchUpin vienti toiminnolla .dwg tiedostoksi. Tämä .dwg tiedosto avataan AutoCAD:llä ja varmistetaan, että piirustuksen yksiköt ovat metrejä. AutoCAD:ssä kannattaa poistaa vielä MicroStationilta tuodut tiedot, jotteivät ne tallennu sinne kahteen kertaan. Periaatteena on, että AutoCAD piirustuksessa on vain se tieto, mikä halutaan viedä MicroStationiin. Tämä AutoCAD-piirustus tallennetaan "AutoCAD 2010/LT2010 (tai vanhempi) Drawing (*.dwg)" muodossa. Seuraavaksi avataan MicroStationissa auki koko kaupungin kattava 3D-kaupunkimalli. Tähän malliin voidaan nyt tuoda edellä AutoCAD:ssä tallennettu .dwg-tiedosto. SketchUpilla tuotettu ja AutoCAD:ssä tallennettu ja muokattu malli istuu näin suoraan oikeaan sijaintiin MicroStationissa. MicroStationissa tulee huomioida eri tietojen olevan järkevästi lajiteltuina omilla tasoillaan.

Myöhemmin käydyissä keskusteluissa Rovaniemen kaupungin edustajien kanssa nousi esille vaihtoehto 3D-kaupunkimallin ylläpitämisestä Autodeskin ohjelmilla. Tätä vaihtoehtoa puoltaa verkkolisenssin mahdollistama usean henkilön mahdollisuus lukea ja muokata suoraan koko kaupunkia koskevaa tiedostoa. Tämän menetelmän etuja ovat kaupunkimallin irrottamis- ja päivitysmahdollisuus usean eri henkilön toimesta. Tällä hetkellä 3D-kaupunkimallia tuotetaan ja päivitetään hankekohtaisesti. Hankekohtainen kaupunkimallin tuottaminen ja päivittäminen on käyttökelpoinen tapa (Luoma 2012). Hankekohtaisesti tuotetut mallit tulee kuitenkin yhdistää yhtenäiseen kaupunkimalliin, jotta ne ovat mahdollisimman laajasti hyödynnettävissä. Käytännössä uusien hankekohtaisten mallien yhdistäminen laajempaan 3D-kaupunkimalliin olisi selkein hoitaa yhden henkilön toimesta (Vianova c.). Näin varmistetaan mallin tasomäärittelyjen olevan yhteensopiva, ja voidaan kontrolloida mallinnuksen tarkkuutta sekä sen sijoittumista yhtenäiseen kaupunkimalliin. Näin varmistetaan yhtenäisen 3D-kaupunkimallin tarkentuminen hankkeiden myötä. Mikäli hanke kohtaisten mallien yhdistäminen päädytään tekemään usean eri henkilön toimesta, korostuvat yhteisten käytäntöjen tarkka määrittäminen ja niihin sitoutuminen.

Yhteistä mallista voidaan tarvittaessa jatkossa irrottaa sopivia paloja hankkeisiin (Kuvio 10).



Kuvio 10. Hankkeeseen irrotettu pala yhtenäisestä kaupunkimallista

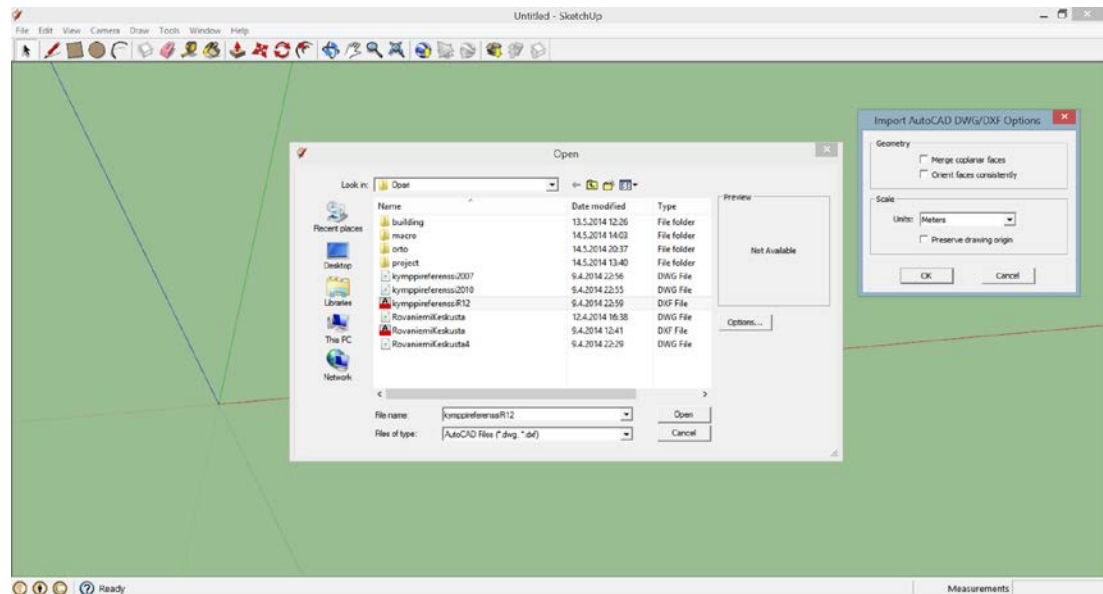
Hankkeessa tuotettu malli yhdistetään takaisin yhtenäiseen kaupunkimalliin.

Suurimmat haasteet tämän menetelmän käytössä tuovat yhteisten käytäntöjen luominen sekä niihin sitoutuminen. Menetelmän käyttö vaatii selkeiden yhteisten käytäntöjen ja sääntöjen luomista. 3D-kaupunkimalliin tulee sopia käytettävät tasot (ohjelmassa Layer) tietyille tiedoille. Tarkisteltaessa mallia voidaan halutut tasot asettaa näkyviin ja vastaavasti tarpeettomat sulkea.

Menetelmän etuna voidaan pitää mallin helppoa päivitystä. Ensin avataan AutoCAD Civil 3D:ssä yhtenäinen kaupunkimalli. Sitten avataan AutoCAD Civil 3D ohjelmalla uusi piirustus. Määritellään piirustuksen yksiköt, käyttämällä UNITS-komentoa, vastaamaan sovittua järjestelmää. Yhtenäisestä 3D-kaupunkimallista kopioidaan uuden mallinnettavan alueen ympäristöstä pala referenssi aineistoksi mallinnettavalle alueelle. Referenssi aineisto liitetään piirustukseen (ohjelmassa Drawing) alkuperäiseen koordinaatistoon (ohjelmassa "Paste to Original Coordinates"). Näin toimiessa uusi mallinnettava alue asettuu oikeaan sijaintiin ja sitä on helppo alkaa työstämään. Tämän jälkeen kannattaa piirustuksen rajat määritellä LIMITS-komennolla. Mallinnettaessa uusia kohteita tulee varmistaa, että kohteet sijoitetaan yhteisesti sovituille tasoille. Kun alue on mallinnettu, poistetaan referenssi aineisto, jottei se tule yhtenäiseen malliin moninkertaisesti. Seuraavaksi kopioidaan uusi mallinnettu tieto ja liitetään (Paste to Original Coordinates) se yhtenäiseen 3D-kaupunkimalliin. Yhtenäinen malli kannattaa säilyttää verkkolevyasemalla. Näin useilla henkilöillä on pääsy malliin, ja käyttäjä näkee, ettei se ole muiden käytössä samaan aikaan. Tällä varmistetaan, että työskentelyyn otetaan viimeisin päivitetty versio kaupunkimallista.

Ylläpidettäessä yhtenäistä 3D-kaupunkimallia AutoCAD Civil 3D:llä on sinne mahdollista tuoda aineistoa myös SketchUpsta. SketchUp Prolla on mahdollisuus lukea ja kirjoittaa .dwg tiedostoja, mitkä voidaan tuoda AutoCAD Civil 3D:hen yhtenäiseen kaupunkimalliin. Käytettäessä SketchUpia mallinnukseen kannattaa sinnekin tuoda yhtenäisestä 3D-kaupunkimallista referenssi aineistoa, jotta SketchUpilla tuotettu malli saadaan sovitettua takaisin yhtenäiseen malliin. Ohjelman "Import..."

toiminnalla tuodaan .dwg kuva SketchUpiin. Tuodessa tulee "Options" painikkeesta varmistaa, että skaalauksen mittayksikkönä on metrit (Kuvio 11).

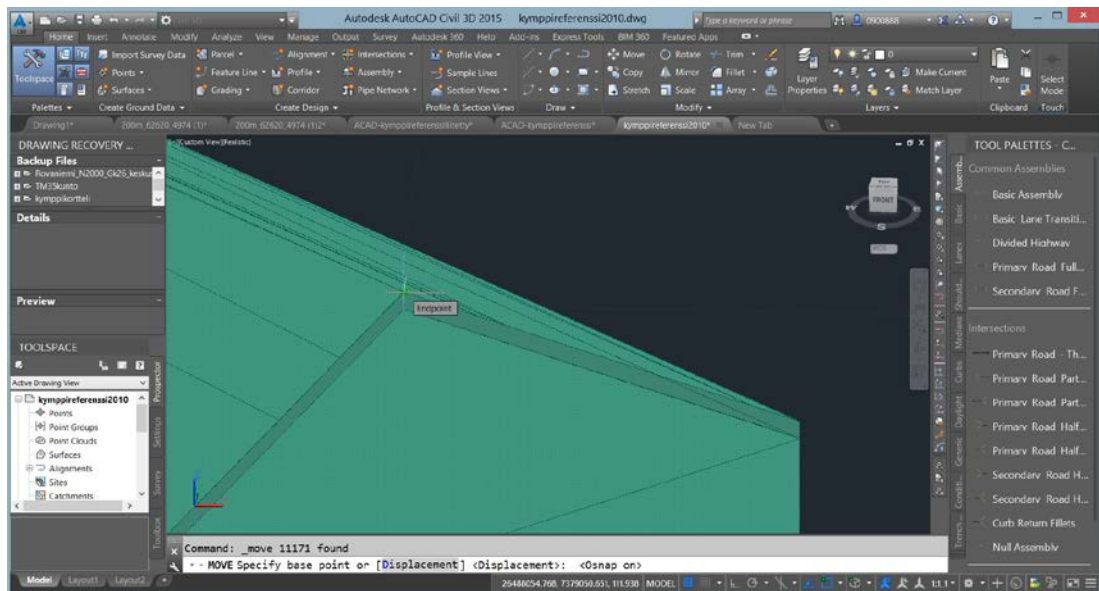


Kuvio11. .dwg tiedoston tuonti SketchUpiin

Ennen tuontia yhtenäisen kaupunkimallista lohkaistu referenssi pala kannattaa viedä AutoCAD Civil 3D:stä "Export->DXF->R12" tiedostoksi. Tämä tiedosto ladataan uudestaan AutoCAD:iin ja räjäytetään elementit EXPLODE-komennolla osiin, jonka jälkeen tiedosto tallennetaan .dwg muodossa. Tämä tehdään sen takia, että saadaan muokattua .dwg tiedoston seinä- ja kattoelementit Solid-elementeiksi, joita SketchUp tunnistaa.

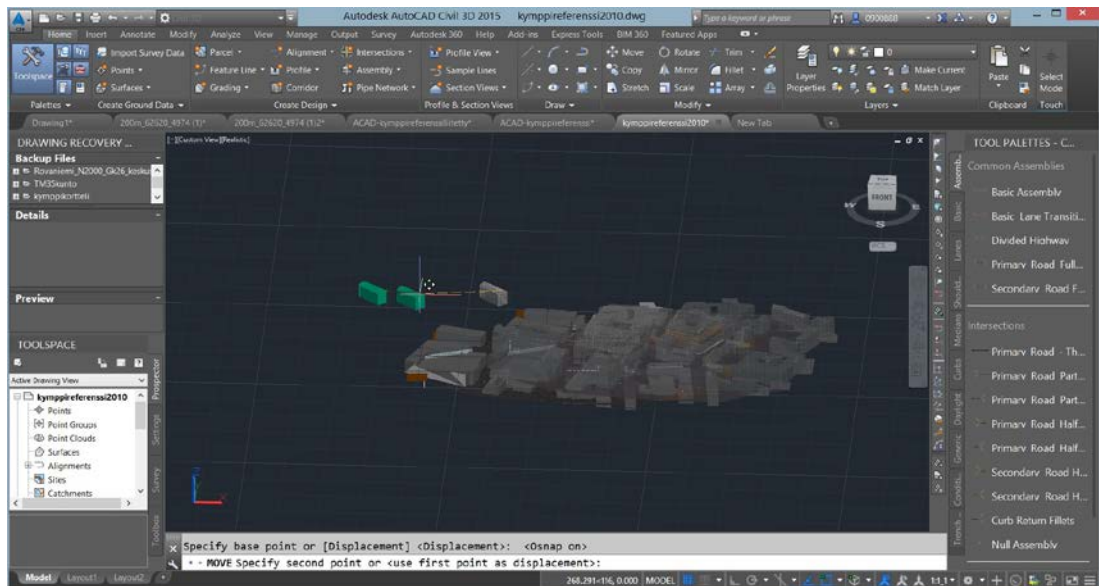
Tämän jälkeen mallinnetaan uutta aluetta, mutta jätetään vähintään yksi piste referenssi aineistosta muokkaamatta. Käytännössä kannattaa jättää kokonainen rakennus muokkaamatta, jotta se on helppo havaita aineistosta. Kun mallinnustyö on valmis, kirjoitetaan SketchUpin "Export->3D Model..." toiminnolla "AutoCAD DWG File (*.dwg)" tiedosto. Asetuksista tulee vielä valita AutoCAD:n versio ja halutut elementit, jotka viedään .dwg-tiedostoon. Käytin testatessa tiedoston siirtoa AutoCAD 2010 versioita. Viedessä objektien materiaalit eivät välttämättä säily, joten SketchUpilla ei kannata keskittyä mallinnuksessa viimeistelemään muuta kuin muotoja. AutoCAD Civil 3D:ssä avataan SketchUpilla viety .dwg tiedosto. Kopioidaan elementit uuteen tiedostoon, ja varmistetaan piirustuksen mittayksiköiden oikeellisuus. Tässä vaiheessa kannattaa varmistaa vielä AutoCAD "Civil 3D" työtilan "Analyze" välilehden "Measure" toiminnolla, että piirustuksen mitat ovat

oikein. Seuraavaksi siirretään elementit oikeille tasoilla ja tallennetaan tiedosto. Tässä vaiheessa voidaan mallia tarkentaa lisäämällä kohteille tekstuureja ja muokkaamalla värit. Kun muokkaus on valmis, valitaan yhtenäiseen kaupunkimalliin haluttavat elementit ja kopioidaan ne. Kohteet liitetään lähialueelta irrotettuun referenssi piirustukseen referenssi aineiston viereen. Valitaan kaikki tiedot ja siirretään ne MOVE-työkalun avulla oikeaan paikkaan. MOVE-työkalua käytettäessä määritetään siirrettävän elementtijoukon lähtöpiste (ohjelmassa base point). Lähtöpiste on piste, jonka mukaan elementtejä liikutetaan. Lähtöpisteeksi määritetään tiedostossa oleva yhtenäisestä kaupunkimallista jätetty referenssirakennuksen kulma (Kuvio 12).



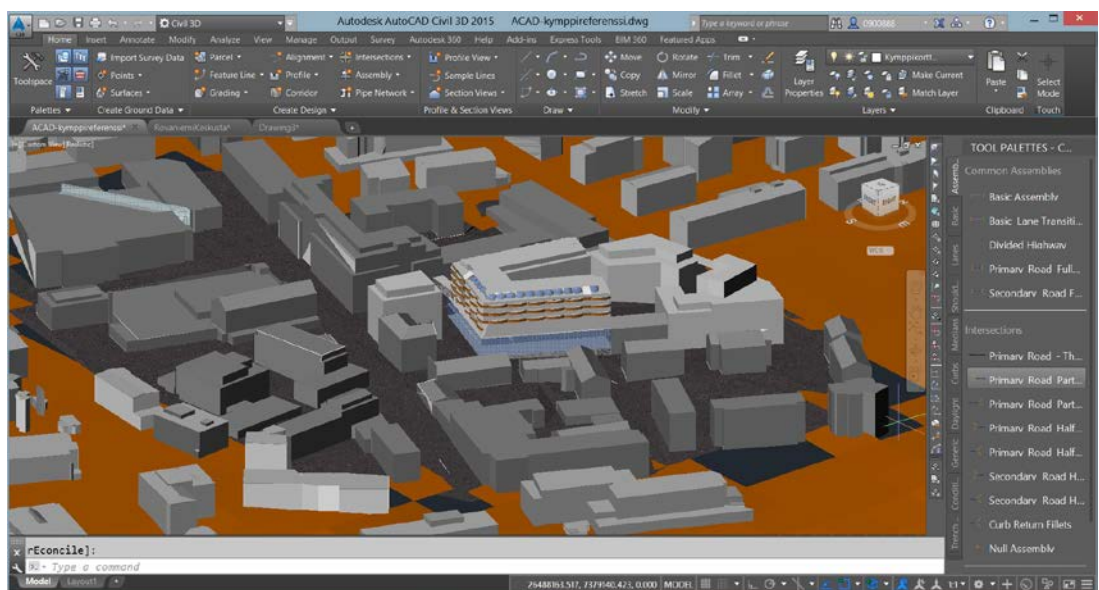
Kuvio 12. MOVE-työkalun base point määrittäminen

Seuraavaksi lähtöpiste hilataan referenssiaineiston vastaavaan pisteeseen (Kuvio 13). Näin SketchUpista tuotu malli on saatu oikeisiin koordinaatteihin.



Kuvio 13. Tiedoston siirto oikeisiin koordinaatteihin referenssipisteen avulla

Tässä vaiheessa voidaan tarkistaa kohteiden istuvuus yhtenäiseen malliin. Seuraavaksi piirustuksesta suljetaan turhat tasot ja poistetaan ylimääräiset kohteet siten, että vain uudet mallinnetut kohteet, jotka halutaan siirtää yhtenäiseen 3D-kaupunkimalliin jäävät näkyviin. Lopuksi varmistetaan kohteiden sijaitsevan oikeilla tasoilla. Seuraavaksi valitaan kaikki siirrettävät elementit ja kopioidaan ne. Nyt kohteet voidaan liittää yhtenäiseen kaupunkimalliin käyttämällä "Paste to Original Coordinates" komentoa. Näin SketchUpilla tuotettu malli saadaan istumaan AutoCAD tiedostoon (Kuvio 14).



Kuvio 14. Hankekohtainen mallinnus liitetty yhtenäiseen kaupunkimalliin

AutoCAD Civil 3D:hen on saatavilla myös ilmainen SketchUp Import työkalu, jolla voidaan tuoda .skp tiedosto AutoCAD:iin. Toiminto vaatii kuitenkin jonkun verran kuvan skaalausta, jotta se saadaan istumaan oikeaan koordinaatistoon. Tässä kannattaa käyttää referenssirakennusta, josta saadaan skaalauskerroin.

Edellä esitetyn perusteella suosittelen Rovaniemen kaupungille siirtymistä käytäntöön, jossa laserkeilausaineistosta tuotetaan TerraSolidin ohjelmilla yhtenäinen 3D-kaupunkimalli. Tämä malli viedään AutoCAD Civil 3D:hen, jossa jatkossa hoidetaan kaupunkimallin ylläpito ja päivitys hankkeiden myötä. Rovaniemen kaupungilla on tarkoitus tilata uusi tarkempi ilmalaserkeilaus keskustasta ja sen ympäristöstä. TerraSolidilla tuotettava malli kannattaa tuottaa tästä tarkemmasta aineistosta. Mallinnuksessa voidaan käyttää myös SketchUpia, kunhan varmistetaan, että piirustuksessa on yhtenäisestä kaupunkimallista lohkaistu referenssirakennus. Ylläpitovastuusta kaupungin henkilökunnan tulee yhdessä päättää nimeävätkö he jonkun henkilön vastaamaan hankekohtaisten mallien liittamisestä yhtenäiseen 3D-kaupunkimalliin, vai päivitetäänkö mallia usean henkilön toimesta. Kaupunkimallin esittämistä voidaan myös parantaa. Hankekohtaisesti kaupunkimallista voidaan jakaa kuvien lisäksi myös läpilento animaatioita. AutoCAD Civil 3D ohjelmalla voidaan tehdä helposti karkeita läpilento animaatioita. Nämä voidaan tallentaa .wmv, .avi tai .mpg tiedostoiksi. Kyseisen videon voi jakaa esimerkiksi Youtuben tai kaupungin internetsivujen kautta esitellessä hanketta.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyö osoittautui opettavaksi projektiksi. Työ tarjosi oppia niin 3D-kaupunkimalliin kuin projektin hallintaan. Jälkeenpäin ajateltuna suhteellisen kiire aikataulu oli varmasti opettava kokemus. Jouduin suunnittelemaan tarkemmin projektin aikataulua ja työvaiheita, jotta saisin työni tehtyä määräaikaan mennessä. Tämä on varmasti arvokasta oppia työelämää ajatellen. Aihetta valitessani yhtenä lähtökohtana oli, että opinnäytetyössäni oppimani tiedot ja taidot voisin hyödyntää mahdollisesti myös jatkossa työelämässä. Sähköpostikyselyssäni Suomen kunnille vastauksista ilmeni 3D-kaupunkimallin hyödyntämisen olevan vasta tulossa laajemmassa mittakaavassa kunnille, joten töitä varmasti löytyy 3D-kaupunkimalliin liittyen.

Opinnäytetyötä tehdessä opin tuottamaan 3D-kaupunkimallia ilmalaserkeilaus- ja orotokuva-aineiston pohjalta TerraSolidin ohjelmilla. Itse asettamani tavoitteet 3D-kaupunkimallin tuottamisen oppimisesta täyttyivätkin tältä osin. Minulla ei ollut aiheesta juuri aikaisempaa kokemusta, joten Rovaniemen kaupungin edustajan Juhani Nikumaan neuvot olivat hyödyllisiä alkuun pääsyyn. Opinnäytetyöni edetessä myös AutoCAD Civil 3D tuli tutuksi. SketchUpilla mallinnusta tein vain perusgeometrioiden osalta. Myös ohjelmien väliset tiedonsiirrot ja siihen liittyvät huomiotavat seikat ja haasteet selkenivät opinnäytetyötä tehdessäni.

Vastauksina Rovaniemen kaupungin haasteisiin löysin muutaman eri toimintamallin. Esittelin vaihtoehtoja kaupungin edustajille työni edetessä. Päädyimme yhteisten keskustelujen pohjalta, että lähden työstämään vaihtoehtoa jossa 3D-kaupunkimallia ylläpidetään Autodeskin ohjelmilla. Tein sen pohjalta ohjeistuksen, jolla AutoCAD Civil 3D:ssä ylläpidetään yhtenäistä kaupunkimallia. Laadin myös ohjeistuksen ohjelmien välisistä tiedonsiirroista AutoCAD Civil 3D:hen.

Opinnäytetyön tuloksena oleva ohjeistus vastaa osaltaan Rovaniemen haasteisiin. Mikäli Rovaniemen kaupunki siirtyy entistä fotorealistisempaan 3D-kaupunkimallin tuottamiseen, tulee jatkossa pohtia, miten teksturoitu 3D-

malli saadaan siirrettyä tekstuuritietoineen suoraan MicroStationista AutoCAD Civil 3D:hen. Myös ohjelmien kehitys voi tuoda tulevaisuudessa uusia mahdollisuuksia 3D-kaupunkimallin tuottamiseen ja ylläpitoon.

LÄHTEET

- ASPRS (the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing) 2008. LAS Specification Version 1.2. Approved by ASPRS Board 09/02/2008. Osoitteessa http://www.asprs.org/a/society/committees/standards/asprs_las_format_v12.pdf. 8.4.2014.
- Ahokas, N. 2014a. Palaveri opinnäytetyöhön liittyen. Muistio 7.3.2014 Rovaniemi. Ei julkaistu.
- 2014b. Sähköpostikysely Suomen kunnille 3D-kaupunkimallista. Ei julkaistu.
- Bentley 2014. Raster Texturing. Osoitteessa https://communities.bentley.com/products/geospatial/desktop/w/geospatial_desktop_wiki/4024.bentley-descartes-raster-texturing.aspx. 10.4.2014.
- Blom ASA 2013. Fotorealistic kaupunkimalleja Blomilta. Osoitteessa http://newsletter.blomasa.com/newsletter/2013/december/fi/december_fi_1.htm. 10.4.2014.
- Cronvall, T. – Kråknäs, P. – Turkka, T. Laserkeilauksen käyttö liikennetunneleiden kunnossapidon hallinnassa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 41/2012. Osoitteessa http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2012-41_laserkeilauksen_kaytto_web.pdf. 2.4.2014.
- Gröger, G. – Kolbe, T. – Nagel, C. – Häfele, K-H. 2012. OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard. Osoitteessa <http://www.opengis.net/spec/citygml/2.0>. 25.4.2014.
- Haggarén, H, 1996. Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen laboratorion kehitysnäkymiä. Maankäyttö 1/1996. Luettu osoitteessa http://foto.hut.fi/publications/paperit/hhaggren/maankaytto_1_1996.html. 10.4.2014.
- Heinonen, H. 2014. Nordic Geocenter tuote-esittely Lapin mittauspäivillä 3.4.2014.
- Honkanen, T. 2012. Kaupunkimallintaminen Espoossa. Esitys kaupunkimalli seminaarissa 1.2.2012.
- Isotalo, K. 2013. Kaupunkimalli on muutakin kuin visualisointia. Positio 1/2013, 17-19.
- Korpela, H. 2008. Laserkeilaus kannattavampaa käytön yleistyessä. Maankäyttö 2/2008, s 36-39.
- Lampinen, J. 2011. Opinnäytetyö. Rovaniemen ammattikorkeakoulu: Laserkeilauksen hyödyntäminen kunnan suunnittelu- ja

mittaustoiminnassa.

Laurila, P. 2008. Kaukokartoituksen perusteet - opetusmoniste. Rovaniemen ammattikorkeakoulu

Laurila, P. 2012a. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Jyväskylä: Kopijyvä Oy.

– 2012b. Ilmalaserkeilaus 14.11.2012. Luentokalvot.

Luoma, S. 2012. Kaupunkimalli prosessi käytännössä. Esitys kaupunkimalli seminaarissa 1.2.2012

Maanmittauslaitos a. Laserkailaustekniikka. Osoitteessa
<http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/laserkeilausaineistot/laserkeilaustekniikka>. 3.4.2014.

– b. Laserkeilausaineisto. Osoitteessa
<http://www.maanmittauslaitos.fi/digituotteet/laserkeilausaineisto>. 25.4.2014.

– c. Ortokuva-aineisto. Osoitteessa
<http://www.maanmittauslaitos.fi/digituotteet/maanmittauslaitoksen-ortokuva>. 25.4.2014.

Oulun kaupunki. 2013. Virtuaalimallinnus suunnittelun ja vuorovaikutuksen työkaluna pilottikohteena Hiukkavaara. Osoitteessa
http://www.ouka.fi/c/document_library/get_file?uuid=97a91b73-2803-4a45-b479-d4eb28b7bb89&groupId=64220. 8.5.2014

Piippo, J. 2014. pLAB ohjelmistotekniikan labarotorion mallintaja Jarkko Piipon haastattelu 24.4.2014.

Reini, J. 2011. CityGML mallintaa kaupungin kolmiulotteisena. Positio 4/2011, s. 26

Riegl 2014a. Riegl VUX-1 informaatioesite. Osoitteessa
http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/VUX-1_at-a-glance_02-2014_02.pdf. 2.4.2014.

– b. Riegl LMS-Q1560 dataesite. Osoitteessa
http://riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/DataSheet_LMS-Q1560_14-02-2014.pdf. 12.4.2014.

Sireeni, J. 2012. Kaupunkimallin kehittäminen ja tulevaisuuden mahdollisuudet. Esitys kaupunkimalli seminaarissa 1.2.2012

SketchUp a. SketchUp kauppa. Osoitteessa
https://store.sketchup.com/product-view.ep?PID=COSU2014NEW&lang_code=en. 27.4.2014.

– b. SketchUp tuki. Osoitteessa

<http://help.sketchup.com/en/article/3000020>. 27.4.2014.

Suomisto, J. 2010. 3D-kaupunkimallit – visualisointia ...
Paikkatietoseminaarin esitys 04/2010.

Suomisto, J 2013. Kaupunkien tietomallit Euroopassa – standardit –
teknologia – sovellukset. Esitelmä Fiksu Kalasatama -seminaarissa.
Luettu osoitteessa
http://www.forumvirium.fi/sites/default/files/fiksu_kalasatama_12_12_2013.pdf. 16.4.2014.

TerraSolid a. Creating wall textures from oblique images. Osoitteessa
http://www.terrasolid.com/training/training_animations.php. 10.4.2014.

- b. TerraSolidin ohjelmistot. Osoitteessa
<https://www.terrasolid.com/products.html>. 15.4.2014.
- c. TerraScan esittely. Osoitteessa
<https://www.terrasolid.com/products/terrascanpage.html>. 15.4.2014.
- d. TerraModeler esittely. Osoitteessa
<https://www.terrasolid.com/products/terramodelerpage.html>. 15.4.2014.
- e. TerraPhoto esittely. Osoitteessa
<https://www.terrasolid.com/products/terraphotopage.html>. 15.4.2014.
- f. TerraMatch esittely. Osoitteessa
<https://www.terrasolid.com/products/terramatchpage.html>. 15.4.2014.
- g. TerraSurvey esittely. Osoitteessa
<https://www.terrasolid.com/products/terrasurveypage.html>. 16.4.2014.

Unity a. Unity Pro. Osoitteessa <https://store.unity3d.com/products>. 24.4.2014.

- b. Unity 4.3.4 Osoitteessa <https://unity3d.com/unity/download>.
24.4.2014.

Vianova a. Kaupunkimallin yleiskuvaus. Osoitteessa
<https://sites.google.com/a/vianova.fi/kaupunkimalli/home/yleiskuvaus-1>. 6.5.2014.

- b. Virtuaalimallin käyttö hankkeissa. Osoitteessa
<https://sites.google.com/a/vianova.fi/kaupunkimalli/roolit-ja-tehtaevaet/ohjeet-hankkeille>. 6.5.2014.

- c. Mallikoordinaattorin kaupunkimalli prosessin ohjaus ja laadunvarmistus.
Osoitteessa <https://sites.google.com/a/vianova.fi/kaupunkimalli/roolit->

ja-tehtaevaet/ohjeet-mallikoordinaattorille. 6.5.2014

Viitala, T. 2011. Opinnäytetyö Savonia-ammattikorkeakoulu. Novapoint-oppimisympäristö.